

# 2017



## Путь энергоэффективности



Челябинский  
компрессорный  
завод

[www.chkz.ru](http://www.chkz.ru)



### **CHKZ: Путь энергоэффективности**

В издании раскрывается заводская методология эффективности – система принципов реализации технических проектов, начиная от правильной постановки технического задания в начале работы с клиентом и заканчивая применением современных информационных систем для управления компрессорными и насосными станциями.



*Владея верными часами,  
Могу их то быстрее пустить,  
То чуть замедлить, чтоб успелось  
Всему свершиться на земле  
И впору наступила зрелость  
Фруктов и дружбы в том числе.  
Л. Мартынов*

## Уважаемые коллеги!

Современная эпоха информационных технологий кардинально изменила подходы к совершенствованию компрессорной и насосной техники. Сегодня три «кита» – технология, конструкция и материал – достигли практического совершенства и не претерпевают существенных изменений, т.к. основные конструкции машин и приемы конструирования хорошо известны, технология производства деталей отработана и обеспечивает высокое качество, материалы узлов подобраны в нужных сочетаниях. Настало время повышения уровня культуры и общения с созданной техникой. В этом направлении информационные технологии предоставляют широчайшие возможности применения:

- энергоаудит – оперативная оценка состояния оборудования предприятия заказчика для поиска проблем, их устранения и оптимального подбора машин и оборудования;
- система автоматического проектирования – решение основных задач проектирования компьютерными программами в очень короткие сроки;
- система автоматического управления – контроль и управление машинами и оборудованием компьютером без привлечения обслуживающего персонала;
- система дистанционного управления – контроль и управление машинами и оборудованием удаленно с персонального компьютера или мобильного устройства;
- автоматическая отчетность – ведение архивирования и отчетности о работе машин и оборудования.

Устойчивый рост мощностей и возрождение отечественной промышленности требуют внимательного, комплексного подхода к техническим задачам, обеспечивающего предприятиям максимально благоприятные условия для дальнейшего роста и развития благодаря энергоэффективным решениям.

**Константин Лайко**  
инженер-конструктор

Руководитель проектов  
**ЯЛАЛЕТДИНОВ Шамиль Раисович**  
Тел.: 8-919-111-777-9  
8 (351) 216-50-50 (доб. 920)  
E-mail: e2t@chkz.ru

Начальник технического отдела  
**НУРЕЕВ Рашид Фаритович**  
Тел.: 8-919-338-73-67;  
8 (351) 216-50-50 (доб. 970)  
E-mail: techotdel@chkz.ru

Инженер-конструктор, редактор  
**ЛАЙКО Константин Константинович**  
Тел.: 8 (351) 216-50-50 (доб. 980)  
E-mail: laiko@chkz.ru

Издание: №4 от 08.02.17  
Подписано в печать: 08.02.17  
Тираж: 300 экз.

454085, г. Челябинск, а/я 8814; тел./факс: 8 (351) 216-50-50;  
Официальный сайт: [www.chkz.ru](http://www.chkz.ru); e-mail: [e2t@chkz.ru](mailto:e2t@chkz.ru); портал: <http://energy2time.ru/>

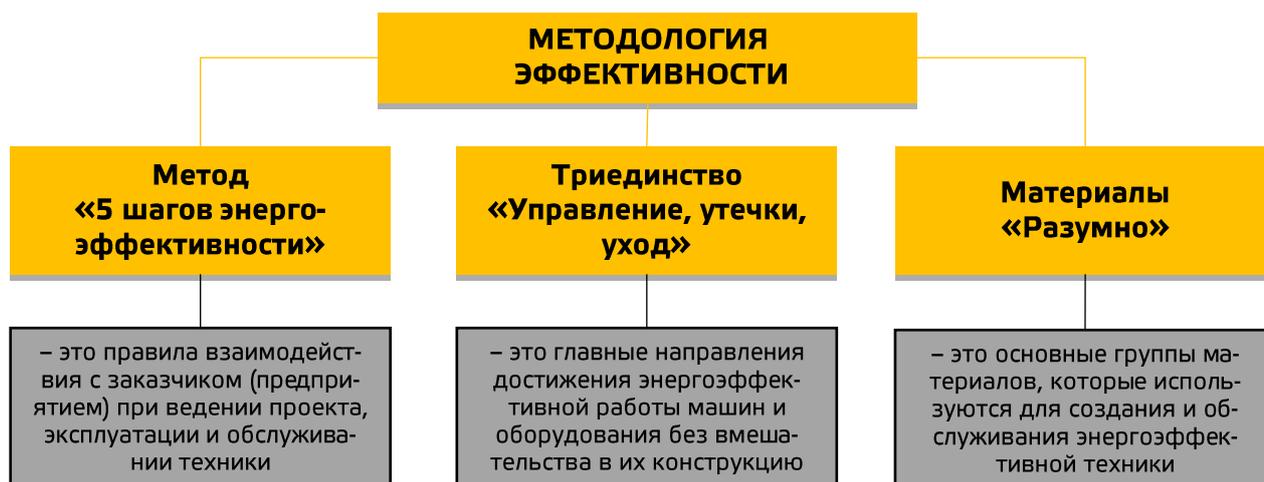


## СОДЕРЖАНИЕ

<b>МЕТОДОЛОГИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....</b>	<b>5</b>
Первый инструмент – метод «5 шагов энергоэффективности» .....	6
Второй инструмент – триединство «Управление, утечки, уход».....	8
Третий инструмент – материалы «Разумно».....	9
Прямая замена или методология эффективности? .....	10
<b>ЭНЕРГОАУДИТ – КАРДИОГРАММА ПРЕДПРИЯТИЯ.....</b>	<b>12</b>
Схема предприятия.....	12
Измерения .....	12
Анализ результатов.....	14
<b>«МЕТАСЕНТРЕ» – ОБЪЕДИНЯЙ И УПРАВЛЯЙ .....</b>	<b>15</b>
Модификации и свойства .....	16
Организация связи .....	16
Частотное регулирование производительности .....	18
Предварительное заполнение пневмосети.....	18
Каскад – на склад!.....	18
<b>УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА.....</b>	<b>20</b>
Компрессорная станция с воздушным отоплением .....	20
Компрессорная станция с водяным отоплением .....	21
Возможности обогрева помещений.....	22
Эффективность при подогреве технической воды .....	22
<b>УМНАЯ НАСОСНАЯ .....</b>	<b>24</b>
Случай 1: открыты все краны.....	25
Случай 2: закрыт кран ВН1.....	27
Случай 3. Закрыты ВН1 и ВН2.....	28
Сравнение вариантов регулирования.....	30
<b>УКРМ – ПОЙМАТЬ МОЩНОСТЬ.....</b>	<b>31</b>
Что такое реактивная мощность? .....	31
Сбор реактивной мощности .....	31
Эффективность без мощности .....	32
<b>ПРИБОРЫ УЧЕТА .....</b>	<b>33</b>
Перечень контрольно-измерительных приборов .....	33
Сколько утекает?.....	34
<b>КОНТАКТЫ .....</b>	<b>36</b>

## МЕТОДОЛОГИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**М**ноголетний опыт сотрудничества с отечественными предприятиями, охватывающий весь жизненный цикл производимой и поставляемой техники от проектирования до обслуживания и ремонта, позволил создать **систему принципов реализации технических проектов**, получившую название **«Методология эффективности»**. Инструменты методологии, применение которых позволяет повысить как эффективность работы техники, так и эффективность взаимодействия между заводом и заказчиком, приведены на схеме.



Методология эффективности обладает 3 главными свойствами:

1

**МАКСИМАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ** техники и сотрудничества может быть достигнута только **при комплексном применении** всех 3-х инструментов. Экономия при отказе от какого-либо инструмента или его компонента неизбежно снижает эффективность.

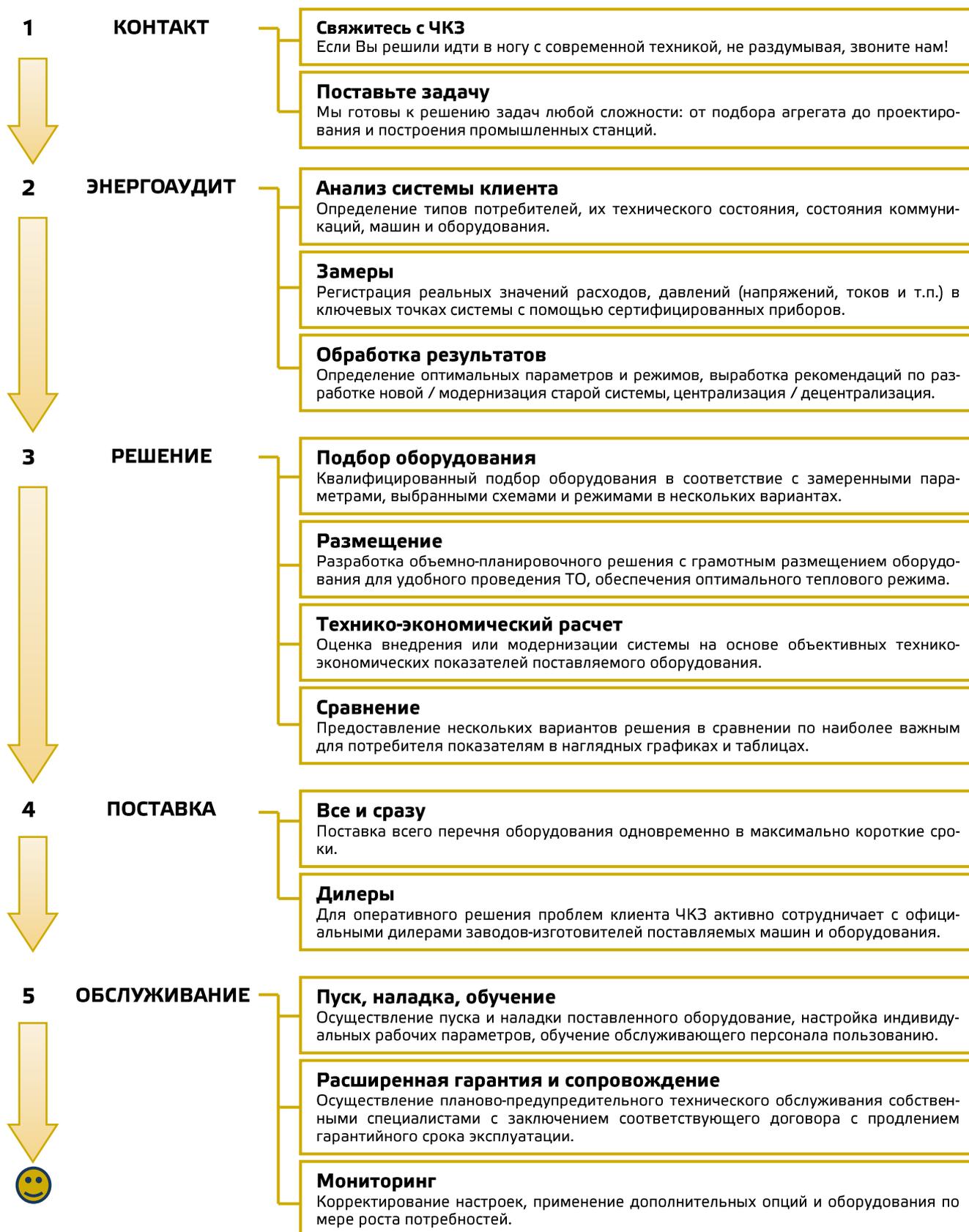
2

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВСЕГДА ОБЕСПЕЧЕНА**, если применяется хотя бы один из инструментов методологии или какой-либо его компонент, однако максимальная эффективность при подобном частичном использовании не может быть достигнута.

3

**ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ** методология применима в первую очередь. При штучном приобретении производимой заводом техники или прямой замене старой техники аналогами, не требующей проектных решений, применение методологии может приводить к неоправданным затратам времени и денежных средств.

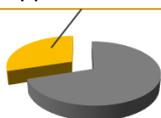
## Первый инструмент – метод «5 шагов энергоэффективности»



**Наивысшая эффективность достигается только последовательным выполнением всех пяти шагов без исключения.** Попытки сэкономить время и деньги, отказавшись от того или иного шага, необратимо снижают эффективность, что впоследствии приведет к дополнительным финансовым издержкам, например, повышенному потреблению электроэнергии (при отказе от энергоаудита) или ремонту машин и оборудования (при отказе от технического обслуживания).

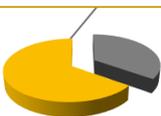
**Эффективность метода** можно выразить через экономию времени и денежных средств **по 5 направлениям:**

**-30%** ⌚ при  
корректном ТЗ



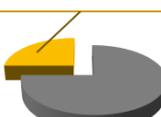
**ЭКОНОМИЯ ВРЕМЕНИ** достигается благодаря отсутствию уточнения, изменения, дополнительных согласований технического задания **на стадии контакта**, способных приводить к изменению производственного цикла, если работы по некорректному, несогласованному техническому заданию уже начались. Специалисты завода всегда готовы помочь заказчику сформировать точное техническое задание.

**-80% ₺** при  
реальных замерах



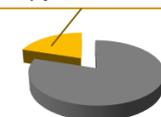
**ЭКОНОМИЯ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ при эксплуатации** достигается благодаря оптимальному подбору машин и оборудования под реальные энергетические параметры производства, полученные **в результате энергоаудита**, а не некоторые теоретические значения, указанные в паспортах или вообще не известные заказчику.

**-25%** ⌚ при  
работе с САПР



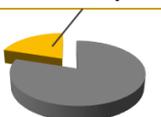
**ЭКОНОМИЯ ВРЕМЕНИ** достигается благодаря применению систем автоматического проектирования и расчетов (САПР), которые позволяют до 90% технических и экономических расчетов производить автоматически еще **на стадии разработки технического решения**, в т.ч. рассматривая и сравнивая для заказчика несколько вариантов. Отсутствие ручных расчетов и фактора человеческой ошибки обеспечивают высокую скорость расчета и достоверность результатов.

**-20% ₺** при  
сотрудничестве



**ЭКОНОМИЯ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ** достигается благодаря широкой дилерской сети завода. Аттестованные специалисты в максимально сжатые сроки прибывают к клиенту, имеют весь необходимый спектр запасных частей и расходных материалов что исключает продолжительные простои производства **в моменты поставки услуг и материалов**, напрямую влияющие на доход заказчика.

**-20% ₺** при  
умелой эксплуатации

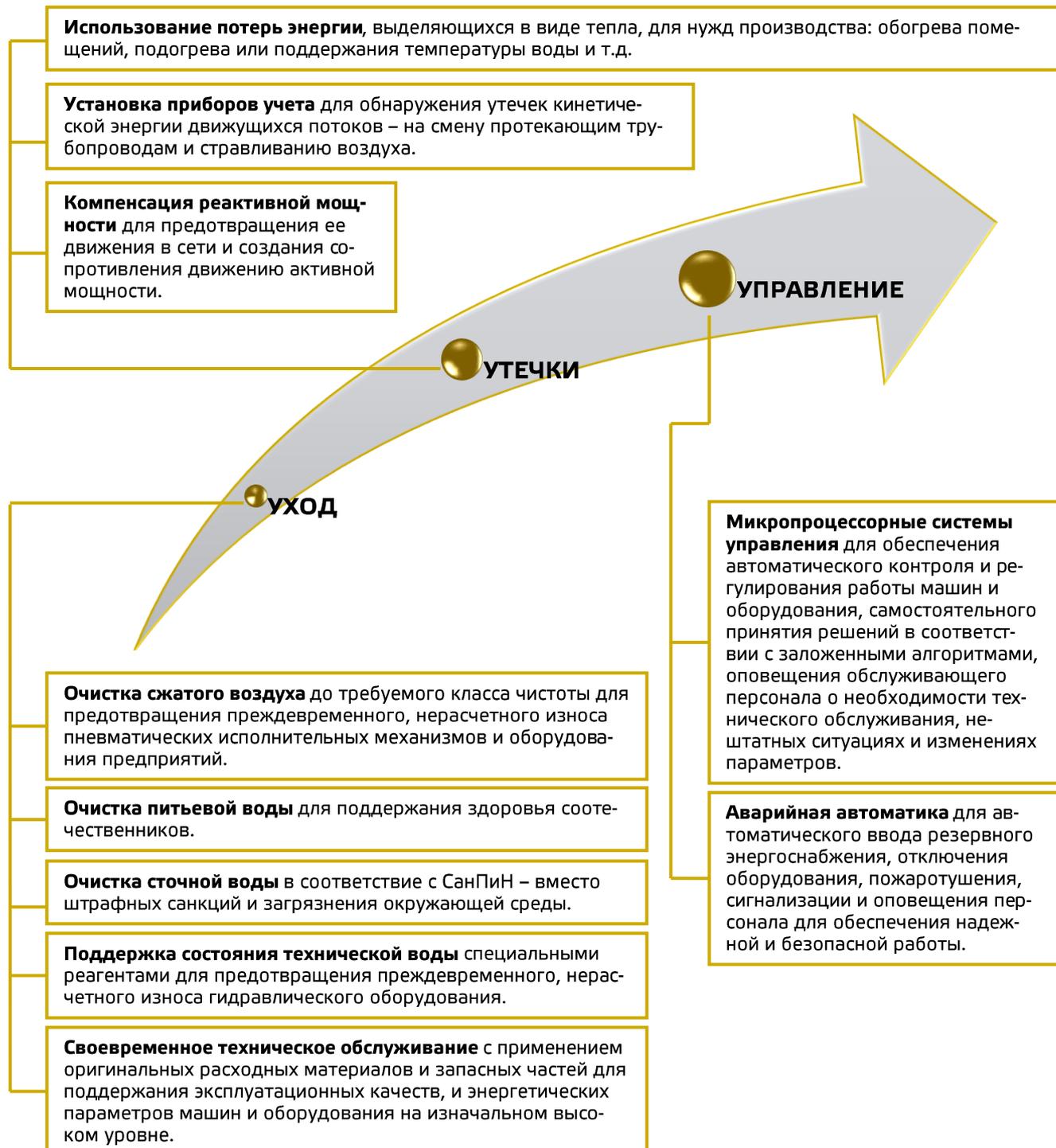


**ЭКОНОМИЯ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ** достигается благодаря широкому спектру предоставляемых услуг **на стадии эксплуатации**: пуск, наладка, обслуживание и обучение специалистами завода, гарантийное и постгарантийное обслуживание, сопровождение и только оригинальные запасные части и расходные материалы от завод-изготовителя.

## Второй инструмент – триединство «Управление, утечки, уход»

Достаточно долго, особенно в советское время, считалось, что качество и надежность, а соответственно, и эффективность техники определяется 3 факторами: технологией производства, проработкой конструкции и правильным подбором материалов. Безусловно, эти три составляющие закладывают основы техники, но принадлежат периоду индустриального роста, развития производств, т.е. когда экономия ресурсов не является приоритетом. Сегодня наблюдается противоположная ситуация: **зстой технического совершенствования машин при развитии микропроцессорного управления и экономии ресурсов**. В данных условиях мы предлагаем инструмент достижения эффективности **«ТриУ»**:

- **Управление** – как грамотно распорядиться возможностями машин?
- **Утечки** – как предотвратить или снизить утечки энергии в окружающую среду?
- **Уход** – как правильно эксплуатировать машины и оборудование?



## Третий инструмент – материалы «Разумно»

**Основные комплектующие** технических решений можно представить аббревиатурой «РАЗУМНО». Применение материалов, **качество которых проверено и гарантировано многолетней эксплуатацией, обеспечивает энергоэффективность** реализуемых проектов. Постоянное тесное сотрудничество с производителями комплектующих, которые завод пока не может изготовить самостоятельно, обуславливает высокое качество и гармоничное сочетание элементов, их свойств, параметров и режимов работы в единой конструкции.



**Р**

– **расходные материалы**

фильтры масляные, фильтры воздушные, сепараторы, ремни, элементы муфт, уплотнения, ремонтные комплекты, фильтрующие элементы и т.д.



**А**

– **агрегаты компрессорные и насосные**

поршневые, винтовые, центробежные, шестеренные на общей раме с двигателем или без двигателя, с ременным или муфтовым приводом и т.д.



**З**

– **запасные части и комплектующие**

компрессоры, насосы, генераторы, двигатели, ресиверы, клапаны предохранительные, клапаны впускные, клапаны давления, трубопроводная арматура, автоматика, элементы корпуса и т.д.



**У**

– **установки компрессорные и насосные**

Поршневые, винтовые, центробежные, спиральные, шестеренные с электро- или дизельным приводом, системами управления, охлаждения, смазки и т.д., в т.ч. готовые установки пожаротушения.



**М**

– **масла и рабочие жидкости**

компрессорные, гидравлические, промышленные, трансмиссионные, моторные, пластичные смазки



**Н**

– **инновации и технологии**

Совместные разработки с отраслевыми проектными институтами и ФГБОУ ВПО «ЮрГУ» (НИУ) г. Челябинска



**О**

– **оборудование по очистке воздуха и жидкостей**

магистральные воздушные фильтры и сепараторы, осушители, охладители, влагмасляные сепараторы, фильтры воды, очистные сооружения, системы сверхтонкой очистки, дозаторы реагента и т.д.

С помощью материалов «Разумно» мы создаем как типовые решения, так и нестандартные, учитывающие специфические требования заказчика. Уверенность в наших старых надежных партнерах, их профессионализме и чувстве ответственности, обеспечивает нестандартным, инновационным, пионерским решениям столь же высокий уровень качества, как и типовым, отработанным и доведенным годами совершенствования.

## Прямая замена или методология эффективности?

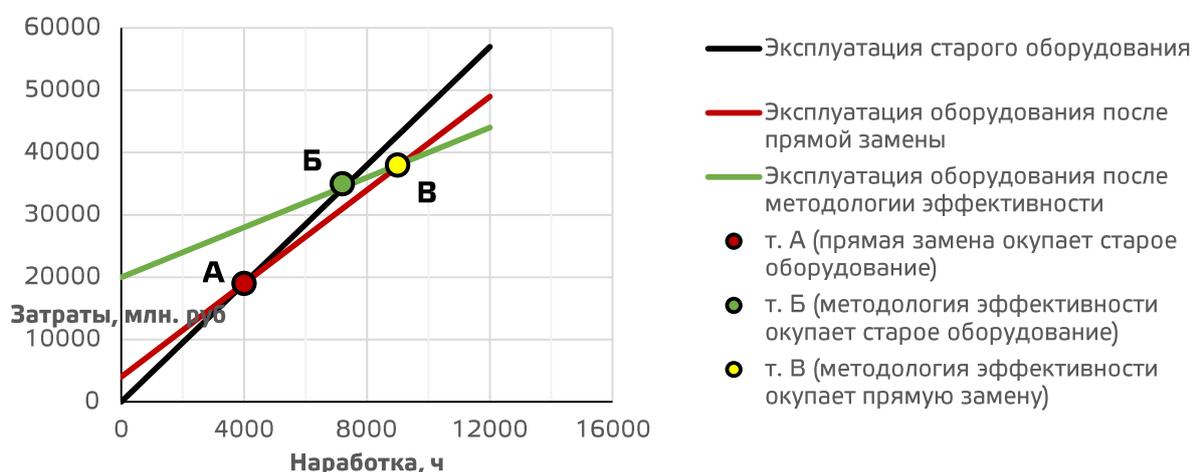
**Прямая замена** старого оборудования на такое же новое или близкие аналоги **представляется достаточно простой и безошибочной**, требующей минимальных капиталовложений. Часто в сознании заказчика срабатывает принцип «новое точно лучше такого же старого». **Да, это действительно так, если условия эксплуатации и задачи техники по прошествии времени не изменились.** А они в большинстве случаев изменились **по следующим причинам:**

- рост мощностей предприятия;
- износ исполнительных механизмов;
- износ коммуникаций;
- повышение требований к качеству продукции;
- изменение экономической ситуации;
- развитие информационных технологий;
- рост конкуренции, необходимость снижения себестоимости продукции;
- изменения структуры предприятия (выделение новых участков, перенос цехов и т.п.).

Таким образом, производство зачастую требует **не замены** техники, а **модернизации** путем тщательного подбора **машин и оборудования нового поколения** с учетом сложившейся на текущий момент специфики предприятия. В этом свете прямая замена уже не выглядит столь безошибочной.

**Качественное сравнение** обоих вариантов приведено в таблице. На следующей далее диаграмме представлены графики затрат, рассчитанные в рамках одного из проектов завода для анализа сроков окупаемости при прямой замене оборудования и с применением методологии эффективности.

Параметр	Прямая замена	Методология эффективности
Капитальные затраты	<b>Низкие</b>	Высокие
Определение энергетических требований потребителей	По паспортным данным машин и оборудования	<b>По результатам приборного энергоаудита</b>
Сложность проектирования	<b>Низкая</b>	Средняя / высокая / очень высокая
Сложность подбора оборудования	<b>Низкая</b>	Средняя
Продолжительность внедрения	<b>Низкая</b>	Средняя / высокая
Соответствие реальному потреблению энергии	Неполное	<b>Полное</b>
Возможность эффективного управления	Низкая	<b>Высокая</b>
Возможность увеличения мощностей	Ограничена аналогом	<b>Согласуется на стадии проектирования</b>
Эксплуатационные затраты	Низкие / средние	<b>Низкие</b>



При **прямой замене** низкие капитальные затраты и малый объем учитываемых при проектировании задач обуславливают достаточно **быструю реализацию проекта**. Заказчик вскоре почувствует положительный экономический эффект: в приведенном примере расчетный **срок окупаемости составил 4000 ч (т. А)**, что соответствует 1...2 годам эксплуатации. Бесспорно, **новая техника будет работать эффективнее старой**.

### **НО МОЖНО ЛИ БОЛЕЕ ВНИМАТЕЛЬНО ПОДОЙТИ К ПРОБЛЕМЕ ЗАКАЗЧИКА И ОБЕСПЕЧИТЬ БОЛЕЕ ВЫСОКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ?**

Применение **методологии эффективности** подразумевает **значительно большие капитальные затраты**, связанные, в первую очередь, с большим объемом работ по энергоаудиту, подготовкой и сравнением нескольких вариантов решения в рамках проектирования, дополнением стандартного набора машин и оборудования специальными устройствами (частотным регулированием, компенсацией реактивной мощности, системой интеллектуального управления, системой утилизации тепла и т.д.). Заказчик должен понимать, что **высокие капитальные затраты не позволят получить быстрый экономический эффект**, как в случае с прямой заменой: в приведенном примере расчетный **срок окупаемости составил 7500 ч (т. Б)**, что соответствует 3...4 годам эксплуатации. Однако определяющее влияние на эффективность окажут результаты приборного аудита, отражающие реальную картину потребления, и проектные решения, принятые с использованием инструментов «ТриУ» и «Разумно». Благодаря оптимальной комбинации машин и оборудования, их энергопотребление будет значительно меньше, что в конечном итоге приведет к случаю, когда **методология эффективности окупит прямую замену (т. В)**, т.е. превзойдет ее по эффективности.

#### **Рекомендации к выбору «прямого метода»:**

- ограниченные финансовые возможности;
- нет необходимости обследовать, ремонтировать или модернизировать энергосистему;
- требования потребителей энергии за истекший период эксплуатации не изменились или не учитываются;
- сжатые сроки внедрения / модернизации.

#### **Рекомендации к выбору метода «5 шагов»**

- возможность значительных финансовых затрат на стадиях аудита, проектирования и поставки оборудования;
- желание заказчика оценить реальное состояние производства и определить истинные требования энергопотребителей;
- готовность к небыстрому экономическому эффекту;
- необходимость исключения утечек энергии, обеспечения автоматического управления в зависимости от потребления в данный момент времени;
- ориентация на долгосрочное стабильное получение прибыли.

## ЭНЕРГОАУДИТ – КАРДИОГРАММА ПРЕДПРИЯТИЯ

**Важнейшим элементом** методологии эффективности **является энергоаудит** предприятия. Эту процедуру можно сравнить с комплексным обследованием организма, необходимым для точного определения заболеваний и назначения правильного лечения. Для предприятия это означает выявление:

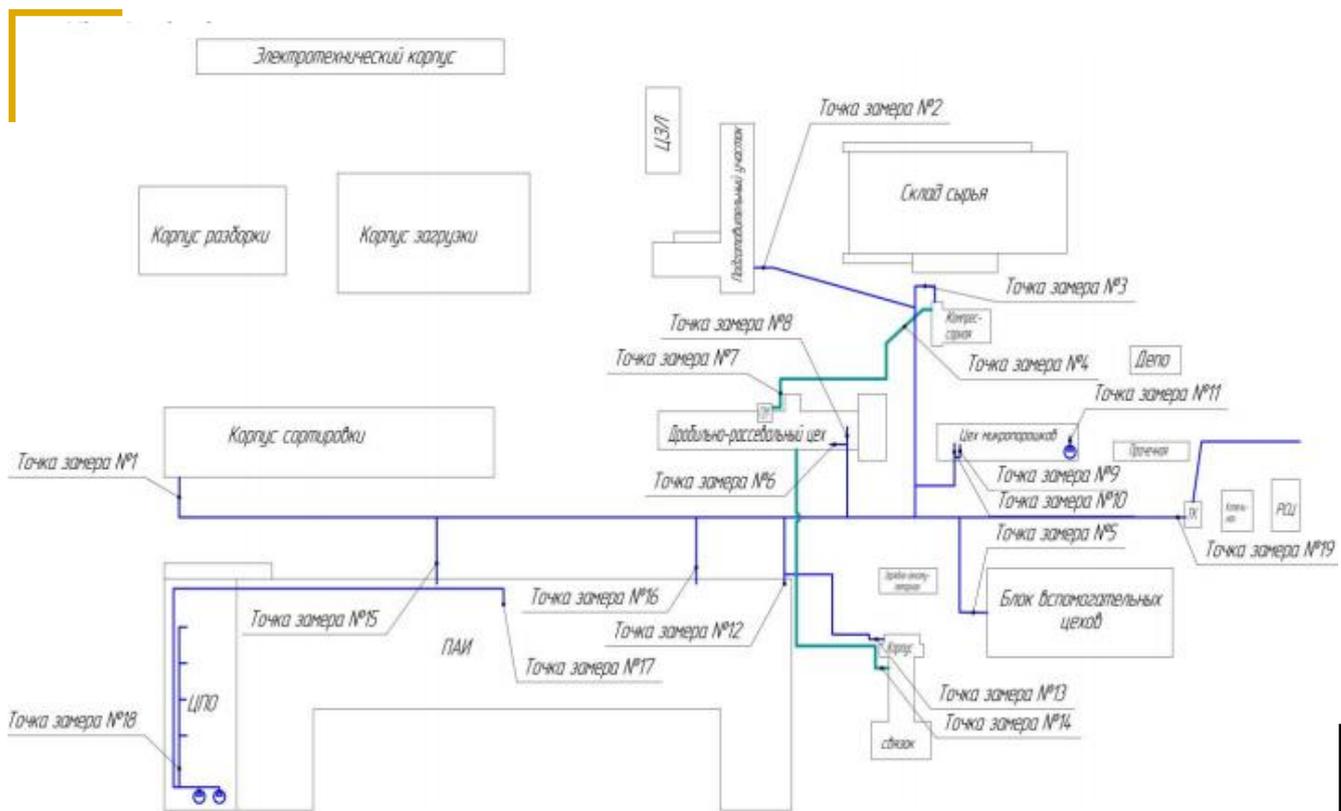
- реального энергопотребления и его распределения;
- мест и объемов утечек;
- возможности перекомпоновки существующей энергосети;
- разработку технического решения.

Кратко рассмотрим пример аудита пневматической сети с централизованной компрессорной станцией на одном из отечественных предприятий.



### Схема предприятия

Пневмоаудит начинается с построения схемы предприятия, отражающей размещение потребителей сжатого воздуха и расположение существующей пневматической сети. Определяются и согласуются точки замера, располагаемые, как правило, в непосредственной близости от исполнительных устройств. Согласно схеме, производятся монтажные работы по установке измерительных приборов (многопараметрических расходомеров, счетчиков частиц, газоанализаторов и т.д.) и их подключению к электропитанию и системе управления.



### Измерения

Осуществляются измерения, продолжительность которых согласуется с заказчиком. Для каждой точки **строятся графики** изменения давления и расхода (последний пересчитывается к нормальным условиям) за весь период измерения, рассчитывается максимальный, минимальный и средний расход.

Пневмоаудит позволяет измерять следующие параметры потока:

- **энергетические** – давление, расход, температуру;
- **фракционные** – содержание механических примесей, влаги, масла, газов и т.д..

На рисунке приведены результаты измерений давления и расхода в двух точках.



## Анализ результатов

Специалисты по пневмоаудиту производят анализ полученных графиков, выявляя «болезни» существующей пневматической системы, и вырабатывают **предложения по ее «лечению»**, т.е. **повышению энергоэффективности**. Уже по результатам с двух точек замера можно сделать предложения по совершенствованию производства, которые впоследствии лягут в основу проекта.

Болезнь	Лекарство	Эффект
<b>ВЕРХНИЙ ГРАФИК</b>		
В ночное время (с полуночи до 7 часов) при остановленном производстве потребление сжатого воздуха продолжается и <b>вызвано утечками</b> в сети.	<b>Произвести ремонт</b> или замену запорно-распределительной аппаратуры, уплотнений трубопроводов.	<b>Нет потерь</b> сжатого воздуха в ночное время, компрессорная установка отключена.
В утренние (около 8 часов) и послеобеденные (около 13 часов) часы наблюдается <b>пиковые расходы</b> сжатого воздуха.	<b>Предусмотреть воздухоборник</b> (ресивер), компрессорные установки подбирать на основе среднего, а не максимального расхода.	<b>Нет перепроизводства</b> сжатого воздуха, <b>стоимость</b> машин <b>снижена</b> значительно.
<b>НИЖНИЙ ГРАФИК</b>		
<b>Разные уровни</b> потребления при достаточно больших расходах.	Установить компрессорные установки с производительностью примерно <b>пропорционально уровням</b> потребления. Одна из установок должна иметь <b>частотное регулирование</b> производительности.	<b>Нет перепроизводства</b> сжатого воздуха.
<b>СОПОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ</b>		
Большая <b>разница расходов</b> .	<b>Произвести децентрализацию</b> и <b>установить систему управления группами</b> машин и оборудования	<b>Нет потерь</b> давления в протяженных трубопроводах, нет перепроизводства сжатого воздуха.

**Ремонт** трубопроводов и запорно-распределительной аппаратуры **является важнейшей составляющей** при модернизации любого производства, **Утечки** сжатого воздуха в окружающую среду через изношенные уплотнения трубопроводов и исполнительных механизмов, **халатность** персонала, не перекрывающего потребителей на время простоя, **сведут на нет энергоэффективность** любого нового оборудования.

**Правильная децентрализация и подбор машин и оборудования** обеспечивают **постоянное соответствие производительности и расхода**, исключают перепроизводство сжатого воздуха, и, соответственно, излишние затраты энергии, обеспечивая потребителя (группу потребителей) тем, чем нужно именно им.

**Микропроцессорная система управления обеспечивает автоматическую работу** техники в расчетных условиях эксплуатации, **позволяет контролировать** работу как централизованных, итак и децентрализованных станций в режиме реального времени, вести отчетность, **применять различные алгоритмы управления** в зависимости от условий эксплуатации и действия каких-либо других факторов.

**СТРУКТУРА, ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕКТИВНО УСТАНОВЛИВАЮТСЯ ТОЛЬКО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ПНЕВМОАУДИТА – ВАЖНЕЙШЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА «5 ШАГОВ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ»!**

## «METACENTRE» – ОБЪЕДИНЯЙ И УПРАВЛЯЙ

Принцип **«разделяй и властвуй!»** известен достаточно широко. Однако он является лишь половиной формулы, второй принцип которой звучит как **«объединяй и управляй!»**. Методология эффективности использует данную формулу в полном объеме. И если первый принцип применяется непосредственно к технике, т.к. децентрализация сегодня является очень эффективным приемом при проектировании, то второй – к системе управления.

**Специализированные контроллеры «Metacentre»** применяются при построении компрессорных станций и, в зависимости от модификации, имеют следующие функции:

- контроль работы группы **до 24 компрессорных установок**;
- **уменьшение амплитуды колебаний** среднего рабочего **давления**;
- **адаптивное регулирование** – контроль количества выключений и переходов компрессорных установок в холостой ход, координация их работы;
- **до 6 различных конфигураций** предустановленных параметров режимов работ;
- **предварительное заполнение пневмосети** в условиях реального времени, полное выключение или снижение рабочего давления в обеденный или межсменный перерыв;
- **контроль величины давления в 3-х различных зонах пневмосети**;
- **управление оборудованием** по подготовке сжатого воздуха и вспомогательным оборудованием;
- **передача информации на персональный компьютер** оператора, диспетчера или на **АСУТП** верхнего уровня, архивация данных и сигнализация неполадок.

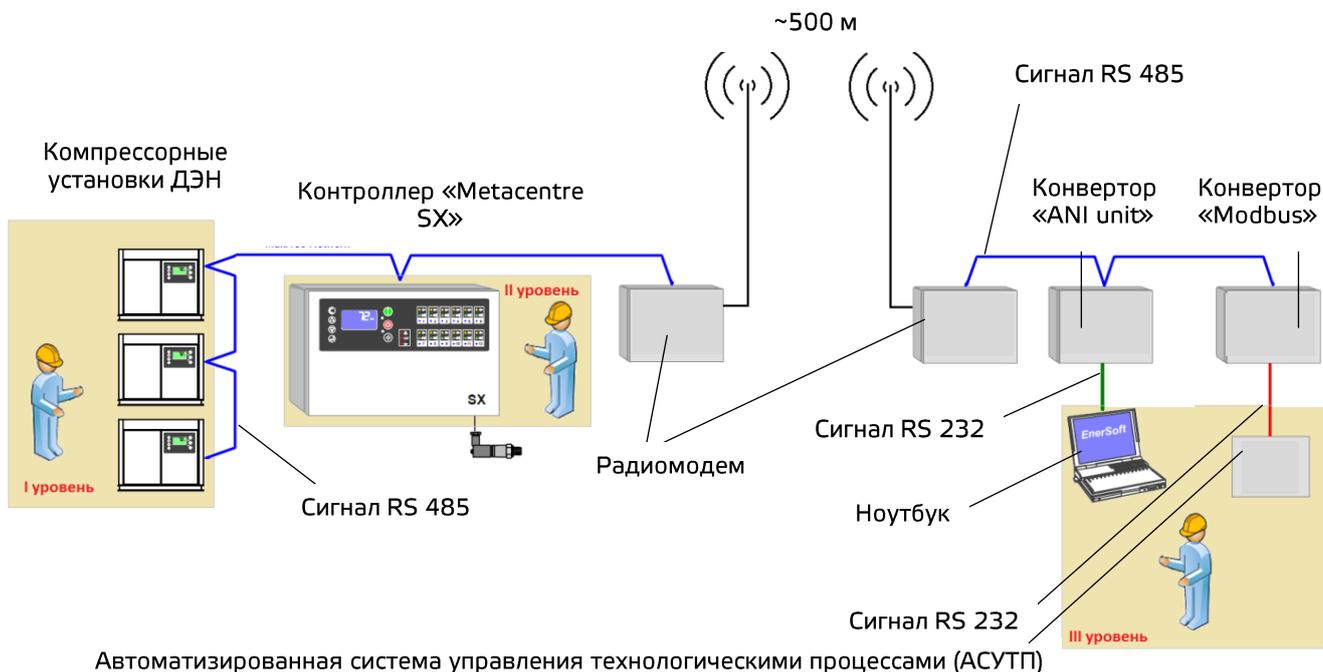


## Модификации и свойства

Параметр	Свойство	P4	SX	XC
Количество управляемых компрессоров	Выбор системы управления в зависимости от потребностей	До 4	До 12	До 24
Диапазон давления, МПа	Снижение потребляемой мощности	0,02	0,02	0,02
Дополнительные блоки ввода / вывода	Подключение дополнительных датчиков для оперативного контроля	2	2	12
Табличная технология	Выбор различных стратегий управления	3	4	6
Часы реального времени	Точная совместная настройка времени, давления и стратегии управления	+	+	+
Предварительное заполнение пневмосети	Подготавливает сеть к рабочему режиму	-	+	+
Стратегия экономии	Подключает интеллектуальный алгоритм	-	+	+
Управление разными компрессорами	Максимально экономит электроэнергию, подключая компрессора разной производительности, в т.ч. с частотным регулированием	-	+	+
Управление дополнительным оборудованием	Запуск и контроль дополнительного оборудования	-	-	+
Контроль зон	Управляет группами компрессоров (до 3х), расположенных в разных зонах пневмосети	-	-	+
Управление балансом давления в зонах	Оптимизирует потребление электроэнергии в различных зонах пневмосети	-	-	+
Подключение резервного датчика давления или расхода	Повышает надежность системы контроля, организует учет потребления сжатого воздуха	-	-	+
Технология виртуального реле	Позволяет запрограммировать устройство под определенные условия технологии производства	-	-	+

## Организация связи

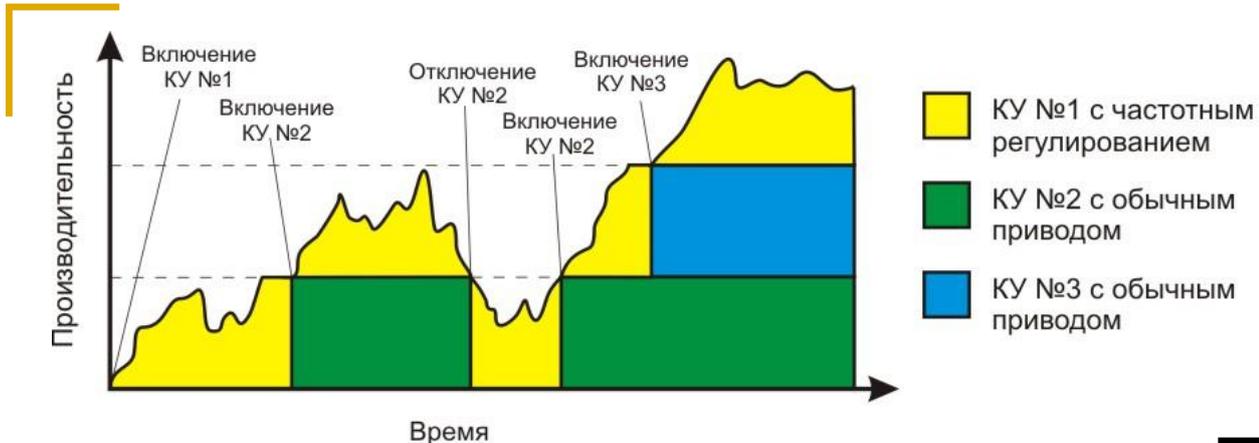
На рисунке представлен типовой вариант организации управления по каналу радиосвязи. Сигналы с блоков управления компрессорными установками ДЭН и оборудованием поступают в контроллер «Metacentre SX» и далее – к радиомодему. Второй радиомодем принимает сигнал и направляет его к конверторам «ANI unit» и/или «Modbus» (в зависимости от модификации), которые преобразуют сигнал из RS 485 в RS 232 и направляют его к персональному компьютеру (ноутбуку) и/или на АСУТП. Сигналы управления с рабочих мест операторов (персональных компьютеров и/или АСУТП) следуют по этой же схеме в обратном направлении.





## Частотное регулирование производительности

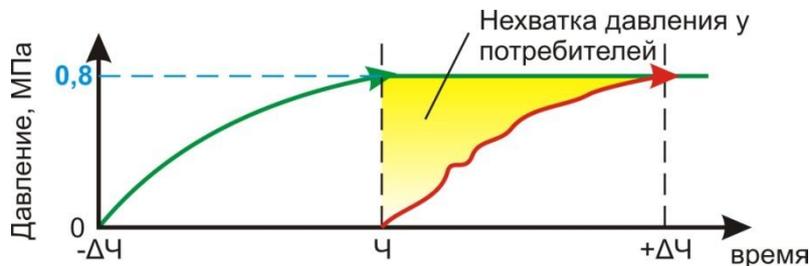
«Metacentre» обеспечивает **непрерывное регулирование производительности** с помощью 1-ой компрессорной установки с частотным регулированием (№1). Другие нерегулируемые установки (№2, №3 и т.д.) вводятся или выводятся из работы по необходимости. При этом исключаются промежутки времени перепроизводства сжатого воздуха или его нехватки.



## Предварительное заполнение пневмосети

«Metacentre» производит **заблаговременное** регулируемое **увеличение давления** до рабочего (на рисунке 0,8 МПа).

Пусть пуск оборудования после некоторого перерыва (например, обеда) осуществляется в момент времени **Ч**. Пневмосеть и машины до этого момента **не нагружены**, соответственно, **рабочее давление понижено** или равно атмосферному. Начало потребления воздуха вызывает включение компрессорных установок, но для **достижения требуемого рабочего давления требуется некоторое время**, до момента времени **+ΔЧ** оборудование не работает или работает неэффективно.



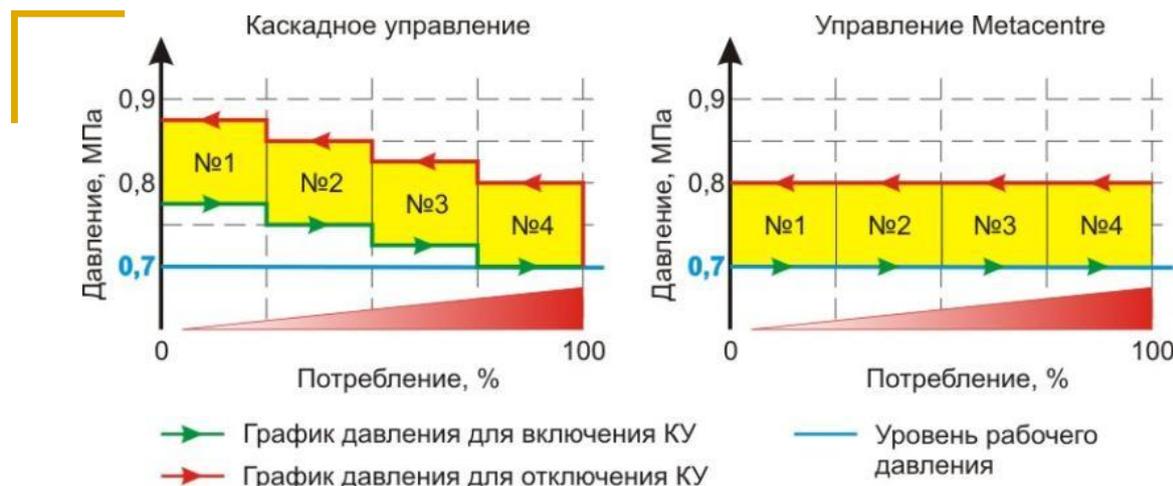
Режим предварительного заполнения пневмосети исключает работу оборудования на недостаточном давлении и устраняет колебания, вызываемые уже начавшимися рабочими циклами **за счет заблаговременного включения компрессорных установок** в момент времени **-ΔЧ**. При запуске заполнения «Metacentre» загружает заранее выбранные для этого компрессоры. Время предварительного наполнения регулируется в зависимости от характеристик пневмосистемы. После заполнения «Metacentre» оставит в работе необходимое количество компрессорных установок для поддержания давления и расхода сжатого воздуха.

## Каскад – на склад!

**Каскадное регулирование** служит классическим и наиболее простым способом регулирования работы группы компрессорных установок. Введенное в период промышленной революции и широко применяемое в советское время, каскадное управление в современном представлении **является «пожирателем» энергии**. Рассмотрим, как это проявляется, сравним его с управлением «Metacentre».

Пусть имеется компрессорная станция на базе 4-х компрессорных установок с мощностью двигателей 132 кВт каждая. Определим ежемесячную экономическую выгоду, получаемую от использования «Metacentre» перед каскадным регулированием.

Представим графически порядок включения в работу компрессорных установок для обоих вариантов:



В каскадной схеме каждая следующая установка загружается при понижении давления в пневмосети в среднем на 0,025 МПа из-за нехватки производительности предыдущей (см. зеленую линию). Соответственно, чтобы при достижении 100% потребления сжатого воздуха и рабочем давлении 0,700 МПа были загружены все 4 установки, перепад давления должен составить 0,075 МПа. Получается, что давление в сети для включения установки №1 должно составлять 0,775 МПа, №2 – 0,750 МПа, №3 – 0,725 МПа и только №4 – 0,700. Потребителям же необходимо только 0,700 МПа.

Разгрузка установок при снижении потребления, производится с запасом 0,1 МПа (см. красную линию), поэтому установка №4 отключится только при достижении давления в системе 0,800 МПа, №3 – при 0,825, №2 – при 0,850 МПа, №1 – при 0,875 МПа. Максимальное давление в системе при каскадном регулировании составит 0,875 МПа (разгружается КУ №1).

«Metacentre» вводит установки в работу по скорости снижения давления при перепаде 0,02 МПа, что на порядок ниже, чем при каскадном регулировании и практически не создает ступенчатости (зеленая линия совпадает с синей). Контроллер выявляет кратковременные скачки давления, при которых регулирование не имеет смысла.

Разгрузка установок при снижении потребления производится по скорости повышения давления. Запас, как и в каскадной схеме, составляет 0,1 МПа.

Определим экономию от применения «Metacentre» при следующих условиях:

- наработка станции в месяц – 720 часов (круглосуточная работа);
- загрузка станции ежедневно – 80%;
- стоимость электроэнергии – 3 руб./кВт·ч.;
- повышение/снижение среднего рабочего давления на 0,1 МПа вызывает повышение/снижение электропотребления на 7% (эмпирическая зависимость);

Параметр	Каскадная схема	«Metacentre»
Среднее давление в сети	0,788 МПа	0,750 МПа
Коэффициент повышенного среднего давления	1	0,97
Потребляемая мощность ежемесячно	$132 \text{ кВт} \cdot 4 \cdot 720 \text{ ч} \cdot 80\% \cdot 1 = 304 \text{ 128 кВт}\cdot\text{ч}$	$132 \text{ кВт} \cdot 4 \cdot 720 \text{ ч} \cdot 80\% \cdot 0,97 = 295 \text{ 004 кВт}\cdot\text{ч}$
<b>Экономия электроэнергии</b>	-	<b>9124 кВт·ч / мес.</b>
Стоимость электроэнергии ежемесячно	$304 \text{ 128 кВт}\cdot\text{ч} \cdot 3 \text{ руб./ кВт}\cdot\text{ч} = 912 \text{ 384,00 руб.}$	$295 \text{ 004 кВт}\cdot\text{ч} \cdot 3 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 885 \text{ 012,00 руб.}$
<b>Экономия денежных средств</b>	-	<b>27 372,00 руб. / мес.</b>
<b>Окупаемость</b>	-	<b>6...9 мес.</b> (в зависимости от комплектации)

**СНАБЖЕНИЕ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ «ТРИУ» – ГАРАНТИРУЕТ ПРЕДПРИЯТИЮ ВЫБОР САМОГО ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА РАБОТЫ СТАНЦИИ, ВЫСОКИЙ КПД И НАИМЕНЬШИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ**

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА

**Процесс сжатия воздуха**, реализуемый сегодня в промышленных компрессорных машинах, **сопровождается большим выделением тепла**. В среднем, **до 50...60% мощности**, подаваемой на вал компрессора, превращается в тепло, и лишь 30% приходится на полезную мощность. Ввиду этого компрессорные машины нуждаются в постоянном охлаждении.

Схемы и конструкции систем охлаждения компрессорных установок хорошо известны и отработаны. **Но куда направляется выделившееся тепло?**

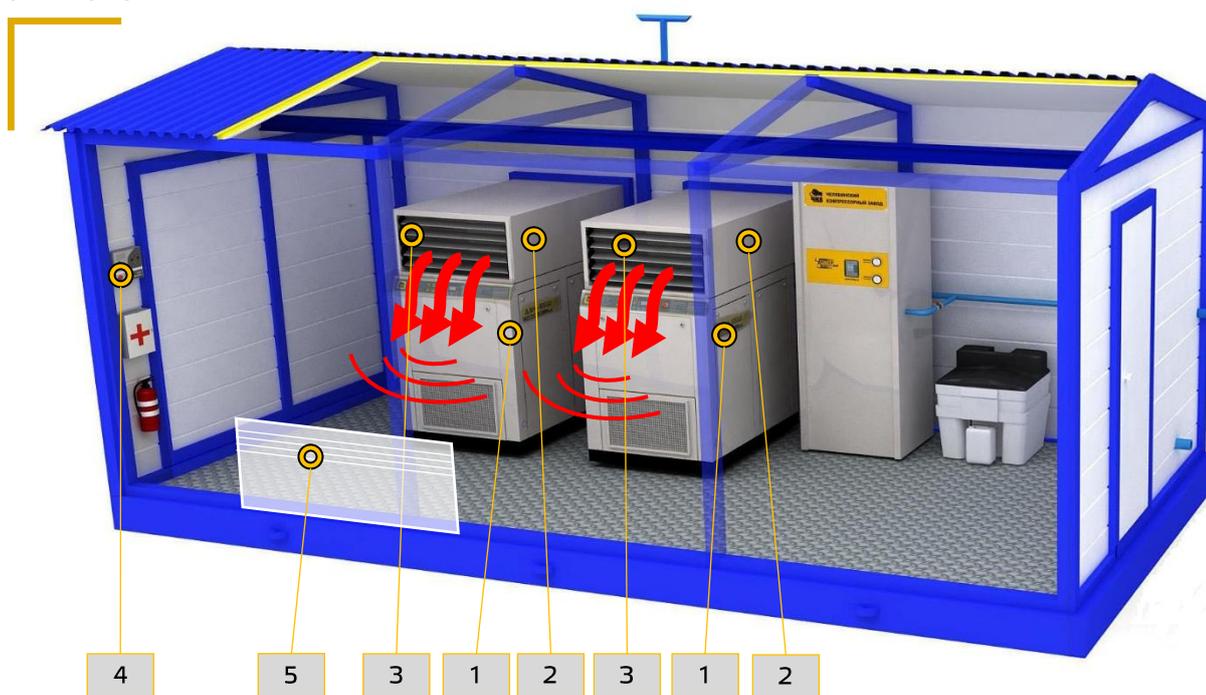
Долгое время никто не заботился о применении тепла для нужд предприятия: вентиляторы и градирни выбрасывали тепло компрессорных станций в окружающую среду. Развитие информационных систем и появление новых средств автоматизации на их базе позволило развить **инструмент «ТриУ»** в направлении утилизации тепловых потерь – **рекуперации тепла**.

Наш завод разработал **2 базовых энергоэффективных решения**, позволяющих **использовать выделяющееся от компрессоров тепло**.



### Компрессорная станция с воздушным отоплением

В данной станции тепло, удаляемое вентиляторами компрессорной установки **1** с теплообменника в воздуховоды **2**, благодаря работе автоматических воздушных клапанов **3** в холодное время года направляется в помещение станции. Температура в помещении настраивается и отслеживается датчиком-реле температуры **4**, входящим в систему управления. Сигнал с датчика **4** используется для управления воздушными клапанами **3**. Если в помещении тепло, клапаны закрываются, теплый воздух сбрасывается в атмосферу. Если в помещении становится холоднее, клапаны открываются, и теплый воздух поступает в компрессорную.

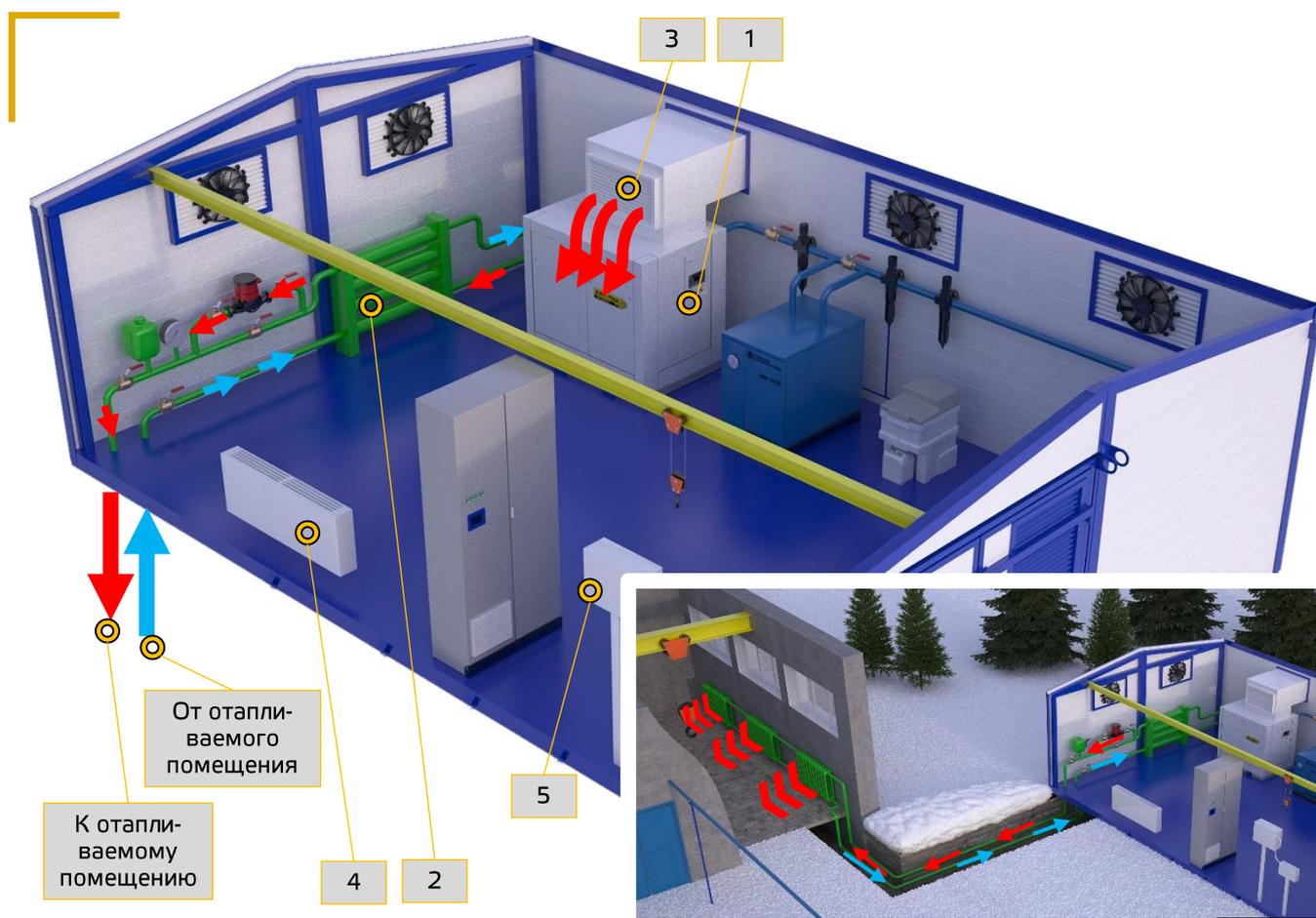


Установка электрического отопителя **5** в помещении станции обязательна, т.к. работа компрессорных установок может носить периодический характер и не обеспечивать постоянного поступления тепла. Практика применения воздушного отопления показывает, что за-

трачиваемая на электроотопление мощность в зимний период может **снижаться на 30...80%** в зависимости от мощности, режима работы установок и зимних условий, т.к. электрический отопитель включается только при нехватке тепла от компрессорных установок. Теплый воздушный поток так же может направляться в смежные со станцией помещения.

### Компрессорная станция с водяным отоплением

В данной станции жидкостно-воздушные теплообменники компрессорных установок **1** заменены на жидкостно-жидкостные **2**. Это прием позволяет транспортировать тепло в другие помещения, не смежные с компрессорной станцией. Для обогрева самой станции частично сохранено воздушное отопление с автоматическими воздушными клапанами **3** и электрические отопители **4**. Температура в помещении станции настраивается и отслеживается датчиком-реле температуры **5**, входящим в систему управления. К ней же могут быть присоединены датчики из обогреваемого помещения, что позволяет регулировать подачу тепла. Для транспорта жидкости к удаленному обогреваемому помещению используется тепловой циркуляционный электронасос **6**.



Жидкостное (водяное) отопление эффективнее воздушного. Жидкость быстрее принимает и отдает тепло, что позволяет интенсифицировать передачу. Теплотрасса от компрессорной до отапливаемого помещения располагается под землей, что дополнительно обеспечивает сохранение тепла.

## Возможности обогрева помещений

Для винтовых электрокомпрессорных установок нами выведена приблизительная зависимость обогреваемой площади, м<sup>2</sup>, от установленной мощности приводного двигателя для воздушного и жидкостного отопления при теплоизолированном трубопроводе. При расчетах принята требуемая тепловая мощность 120 Вт/м<sup>2</sup>, высота помещения 2,7 м, температура на улице -25 °С.

Мощность приводного двигателя, кВт	Площадь помещения, м <sup>2</sup>					
	Выделяемая тепловая энергия, кВт	Воздушная рекуперация	Жидкостная рекуперация	Жидкостная рекуперация и трубопровод 100 м	Жидкостная рекуперация и трубопровод 300 м	Жидкостная рекуперация и трубопровод 500 м
5,5	3,30	27,0				
7,5	4,50	37,0				
11,0	6,60	55,0				
15,0	9,00	75,0				
18,0	10,80	90,0				
22,0	13,20	110,0				
30,0	18,00	150,0	128,0	97,0	56,0	32,0
37,0	22,20	185,0	157,0	120,0	69,0	40,0
45,0	27,00	225,0	191,0	145,0	84,0	48,0
55,0	33,00	275,0	234,0	178,0	103,0	59,0
75,0	45,00	375,0	319,0	242,0	140,0	81,0
90,0	54,00	450,0	383,0	291,0	168,0	97,0
110,0	66,00	550,0	468,0	355,0	205,0	119,0
132,0	79,20	660,0	561,0	426,0	246,0	142,0
160,0	96,00	800,0	680,0	517,0	299,0	172,0
200,0	120,00	1000,0	850,0	646,0	373,0	216,0
250,0	150,00	1250,0	1063,0	808,0	466,0	269,0
315,0	189,00	1575,0	1339,0	1017,0	588,0	339,0

**Примечание:** желтым цветом выделен рекомендуемый диапазон обогрева при воздушной рекуперации; зеленым цветом выделен рекомендуемый диапазон при жидкостной рекуперации.

## Эффективность при подогреве технической воды

Чтобы численно оценить эффективность использования тепла компрессорных установок, рассмотрим случай, когда тепло отводится через встроенный в масляную линию компрессорной установки теплообменник и нагревает техническую воду, например, для нужд технологического процесса или отопления. Примем следующие условия:

- температура входящей для нагрева воды 35 °С;
- температура воды для нужд предприятия 90 °С;
- температура масла, входящего от компрессорной установки, 75 °С;
- температура масла, возвращающегося в компрессорную установку, 50 °С;
- поток масла через охладитель 8 л/мин;
- поток воды через охладитель 6 л/мин;
- плотность масла 900 кг/м<sup>3</sup>;
- плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>;
- удельная теплоемкость масла 2,17 кДж/(кг·°С);
- удельная теплоемкость воды 4,21 кДж/(кг·°С);
- коэффициент полезного действия теплообменника 95%;
- работа компрессорной установки 24 ч/сут.;
- мощность приводного двигателя компрессорной установки 30 кВт;
- коэффициент загрузки компрессорной установки 0,8;
- стоимость электроэнергии 3,0 руб. / 1 кВт·ч.



Определим **тепловую мощность**, которую отдает поток компрессорного масла воде в охладителе (учтем разную размерность величин коэффициентом 60000):

$$2,17 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ) \cdot (75 \text{ }^\circ\text{C} - 50 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 8 \text{ л/мин} / 60000 = \mathbf{6,51 \text{ кВт.}}$$

Определим, **на сколько градусов тепловая мощность**, отдаваемая потоком компрессорного масла, **может нагреть воду** (учтем разную размерность величин коэффициентом 60000):

$$60000 \cdot 6,51 \text{ кВт} \cdot 95\% / (1000 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 4,21 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ) \cdot 6 \text{ л/мин}) = \mathbf{15 \text{ }^\circ}.$$

Это означает, что **нагрев воды основным водогрейным устройством будет происходить** не с 35 °C, как было без подвода тепла от компрессорной установки, а с

$$35 \text{ }^\circ\text{C} + 15 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{50 \text{ }^\circ\text{C.}}$$

Очевидно, что энергии на такой нагрев основное водогрейное устройство потратит меньше. **Сравним затрачиваемые тепловые мощности** (учтем разную размерность величин коэффициентом 60000):

В случае **без использования** тепла компрессорной установки:

$$4,21 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ) \cdot (90 \text{ }^\circ\text{C} - 35 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 1000 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 6 \text{ л/мин} / 60000 = \mathbf{23,16 \text{ кВт.}}$$

В случае **с использованием** тепла компрессорной установки:

$$4,21 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ) \cdot (90 \text{ }^\circ\text{C} - 50 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 1000 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 6 \text{ л/мин} / 60000 = \mathbf{16,42 \text{ кВт.}}$$

**Экономия мощности** составит при круглосуточном нагреве воды с учетом того, что компрессорная установка загружена 80% в сутки (коэффициент загрузки 0,8) составит **ежемесячно**:

$$(23,16 \text{ кВт} - 16,42 \text{ кВт}) \cdot 24 \text{ ч} \cdot 30 \text{ дней} \cdot 0,8 = 3882 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = \mathbf{3,9 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}}$$

Заметим, что компрессорная установка за месяц потребит

$$30,0 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 30 \text{ дней} \cdot 0,8 = 17280 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = \mathbf{17,3 \text{ МВт.}}$$

Следовательно, **22,5%** от потребленной мощности вместо выброса в атмосферу **будет направлено в технологический процесс предприятия**.

Определим, **сколько удастся сэкономить в месяц**:

$$3882 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 3 \text{ руб.}/\text{кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,8 = \mathbf{11 \text{ 646,72 руб.}}$$

Таким образом, грамотная утилизация тепловых потерь (утечек энергии) помогает **экономить почти 4 МВт электроэнергии ежемесячно!**

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ (РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА) – САМОЙ РАСПРОСТРАНЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ «ТРИУ» – ГАРАНТИРУЕТ СУЩЕСТВЕННУЮ ЭКОНОМИЮ НА ОТОПЛЕНИИ И НАГРЕВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЫ.**

## УМНАЯ НАСОСНАЯ

Классическим и самым распространенным способом регулирования центробежных насосов всегда являлось дросселирование, т.е. закрытие или открытие затвора на определенный угол. Появление электродвигателей с изменяемой частотой вращения сделало предпочтительным частотное регулирование. Однако **следует ли отказываться от дроссельного регулирования? Может ли частотное регулирование быть неэффективным? Какие решения должна уметь принимать система управления** в зависимости от условий водопотребления, **чтобы обеспечить энергоэффективность насосной станции?** Раскроем эти вопросы на примере водоснабжения 3-х потребителей.

Пусть имеется 3 потребителя: **А**, **Б** и **В**. Они получают воду от насосной станции, в которую входят два одинаковых насоса **Н1** и **Н2**, причем **Н1** имеет частотное регулирование производительности.

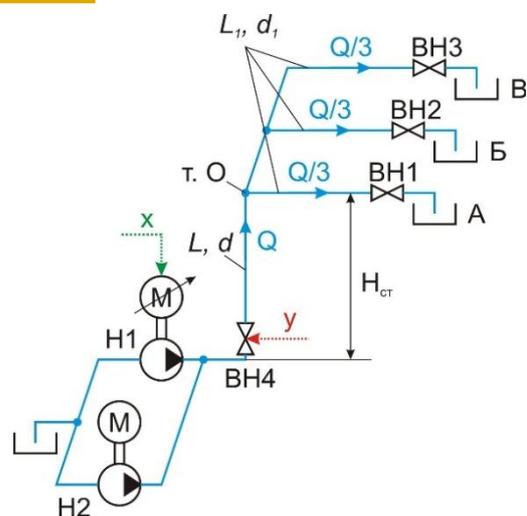
**Рассмотрим 3 случая поведения потребителей:**

1. Все краны открыты.
2. Потребитель **А** закрыл кран **ВН1**.
3. Потребитель **Б** закрыл кран **ВН2**.

Чтобы сравнить эффективность регулирования, **определим потребляемую станцией мощность и ее КПД при разных вариантах регулирования.**

**Примем значения величин и допущения:**

- диаметр внутренний общей трубы (до т. **О**)  $d = 80$  мм;
- диаметр труб-ответвлений (после т. **О**) одинаков  $d_1 = 40$  мм;
- длины, материал и состояние труб-ответвлений одинаковы, т.е. расход  $Q$  при полностью открытых кранах **ВН1**, **ВН2** и **ВН3** разделяется между потребителями **А**, **Б** и **В** в равных долях  $Q_1 = Q/3$ .
- длина общего трубопровода  $L = 200$  м, а каждого ответвления  $L_1 = L/2 = 100$  м;
- потребители находятся на высоте  $H_{ст} = 20$  м;
- подача станции при всех открытых кранах должна быть  $Q_{max} \geq 36$  м<sup>3</sup>/ч, т.е. по 12 м<sup>3</sup>/ч каждому потребителю;
- коэффициент гидравлического трения в трубах постоянен  $\lambda = 0,025$ ;
- общий КПД насосов 62%, не зависит от рабочей точки;
- плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
- ускорение свободного падения  $g = 9,8$  Н/кг;
- все местные сопротивления элементов трубопроводов (повороты, разветвления, вентили и т.п.) исчезающе малы по сравнению с протяженностью трубопроводов;
- КПД станции снижается на 1% при снижении частоты вращения регулируемого насоса на 5% (эмпирическая зависимость);
- при малом изменении подачи станции (регулировании) изменением характеристики сети пренебрегается;
- потреблением энергии другими устройствами пренебрегается;
- максимально допустимая глубина частотного регулирования насоса 15%;
- наработка станции в месяц – 720 часов (круглосуточная работа).



Построим характеристики сети  $H_{сети} = f(Q)$  – зависимость напора сети от протекающего по ней расхода воды – для случаев, когда сначала потребитель **А** закрывает кран **ВН1**, а затем потребитель **Б** закрывает кран **ВН2**, сравним и проанализируем варианты поведения интеллектуальной системы управления.

Для построения характеристики сети применим уравнение Бернулли в размерности напоров, м:

$$H_{\text{сети}} = H_{\text{ст}} + \Delta h_L + \Delta h_1.$$

Уравнение показывает, что напор сети  $H_{\text{сети}}$  есть сумма статического напора  $H_{\text{ст}}$ , вызванного тем, что потребители размещены на некоторой высоте, и потерь энергии в общем трубопроводе  $\Delta h_L$  и его параллельных ответвлениях  $\Delta h_1$ .

Для определения потерь энергии в трубопроводах используем зависимости

$$\Delta h_L = 0,0828 \cdot \lambda \frac{L \cdot Q^2}{d^5}, \quad \Delta h_1 = 0,0828 \cdot \lambda \frac{L_1 \cdot Q_1^2}{d_1^5}.$$

Подстановкой в уравнение Бернулли зависимостей для потерь энергии в трубопроводах и известные численные значения величин получим:

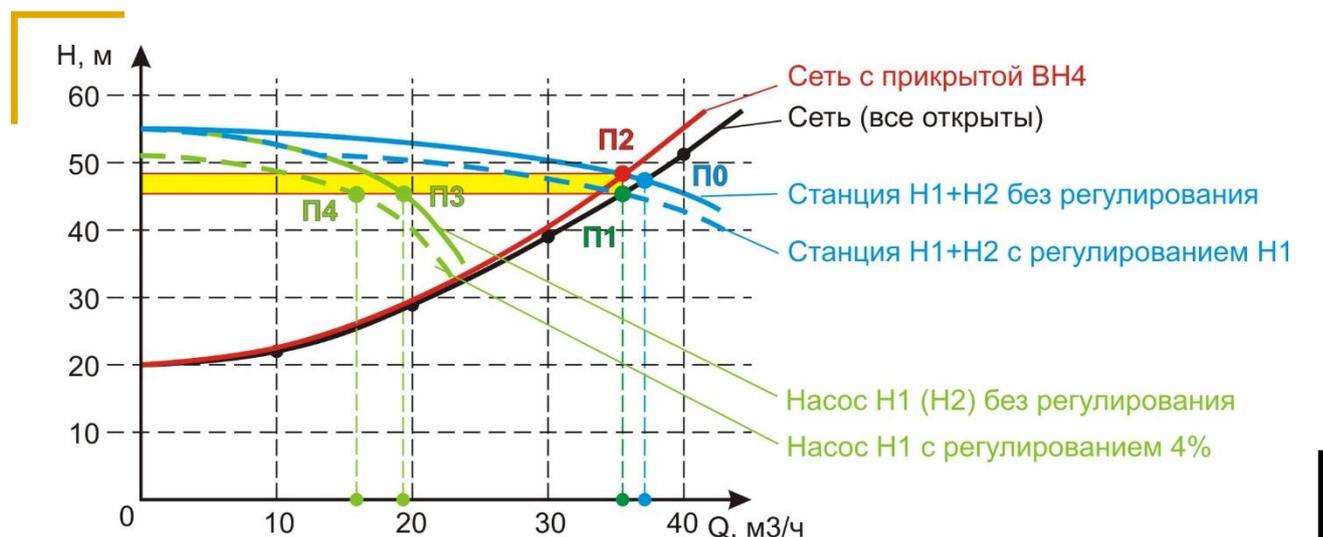
$$H_{\text{сети}} = H_{\text{ст}} + 0,0828 \cdot \lambda \frac{L \cdot Q^2}{d^5} + 0,0828 \cdot \lambda \frac{L_1 \cdot Q_1^2}{d_1^5},$$

$$H_{\text{сети}} = 20 + 41400 \cdot (Q^2 + 16 \cdot Q_1^2).$$

В выведенное уравнение будем подставлять значения подачи  $Q$  от 0 до 40 м<sup>3</sup>/ч с шагом 10 м<sup>3</sup>/ч.. Результаты вычислений сведем в таблицу. Построим характеристики сети для 3-х случаев. На одном поле с характеристиками сети разместим характеристику станции с одним регулируемым и одним нерегулируемым насосом.

### Случай 1: открыты все краны

Этому случаю соответствует характеристика сети при всех открытых кранах (кривая —). Совместная работа насосов **Н1** и **Н2** дает характеристику станции с двумя насосами без регулирования (кривая —), получаемая сложением двух исходных одинаковых каталожных ха-



рактеристик насосов (кривые —).

Рабочая точка **П0**, образуемая пересечением характеристики сети с характеристикой станции, дает значения напора  $H = 36$  м и расхода  $Q = 37$  м<sup>3</sup>/ч. Условие  $Q = 37$  м<sup>3</sup>/ч  $>$  36 м<sup>3</sup>/ч, введенное нами вначале, соблюдается, т.е. оба насоса обеспечивают потребителей достаточным объемом воды. При этом рабочая точка **П1** отражает минимально допустимое состояние, при котором потребители получают воды не меньше, чем требуется.

**Вариант 1: бездействовать.** Если настройки системы управления допускают превышение расхода на  $\Delta Q = 1$  м<sup>3</sup>/ч (+2,7%), она не будет производить регулирование. В этом случае потребляемая мощность и КПД станции не изменятся. Если потребителями являются жители дома, они обязательно отметят «хороший напор» (по факту – большую подачу).

Полезная мощность на выходе станции определяется как площадь под характеристикой станции, ограниченная справа рабочей точкой. Она же примерно равна мощности на выходе насосов:

$$N_{\text{нас}} = N_{\text{пол}} = 5,3 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД обоих насосов  $\eta_{\text{н}} = 62\%$ :

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta_{\text{н}} = 5,3/0,62 = 8,6 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае равен КПД насосов:

$$\eta_{\text{ст}} = \eta_{\text{н}} = 62\%.$$

**Вариант 2: управлять задвижкой ВН4.** Для подачи каждому потребителю  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ , покрывается задвижка **ВН4**. Это действие не влияет на насосы, и характеристика станции (кривая  $\rightarrow$ ) не изменяется, а характеристика сети смещается левее (кривая  $\leftarrow$ ). Теперь характеристики сети и станции будут пересекаться в рабочей точке **П2** с требуемым расходом  $Q = 36 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Прикрытие задвижки **ВН4** вызовет потери энергии, численно равные площади желтого прямоугольника, проходящего через точки **П1** и **П2**. Вычислим потери мощности:

$$\Delta N_{\text{ВН4}} = \frac{(H_{\text{П0}} - H_{\text{П1}}) \cdot Q_{\text{П0}} \cdot \rho \cdot g}{3600} = \frac{(59 - 55) \cdot 36 \cdot 1000 \cdot 9,8}{3600} = 0,4 \text{ кВт}$$

Полезная мощность станции определяется как площадь под характеристикой станции без площади желтого прямоугольника, ограниченная справа рабочей точкой:

$$N_{\text{пол}} = 5,1 \text{ кВт.}$$

Мощность на выходе насосов больше полезной мощности на величину потерь мощности на задвижке:

$$N_{\text{нас}} = N_{\text{пол}} + \Delta N_{\text{ВН4}} = 5,1 + 0,4 = 5,5 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД обоих насосов  $\eta = 62\%$ :

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta = 5,5/0,62 = 8,9 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае определится как отношение полезной мощности на выходе станции к потребляемой:

$$\eta_{\text{ст}} = N_{\text{пол}}/N_{\text{потр}} = 5,5/8,9 = 57,3\%.$$

**Вариант 3: управлять насосом Н1.** Снижая скорость вращения насоса **Н1**, система управления изменяет его первоначальную характеристику (кривая  $\rightarrow$ ) до новой (кривая  $\dashrightarrow$ ) и не влияет на первоначальную характеристику сети ( $\leftarrow$ ). Характеристика станции также изменится (кривая  $\dashrightarrow$ ). Регулирование будет продолжаться до тех пор, пока не будет достигнуто пересечение характеристики станции (кривая  $\dashrightarrow$ ) с характеристикой сети ( $\leftarrow$ ) в рабочей точке **П1**, так же как и в варианте 2, имеющей подачу  $Q = 36 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Глубина регулирования частоты вращения насоса **Н1** для соблюдения этого условия должна составлять 4%.

При данном варианте регулирования насосы будут иметь разные подачи. Чтобы определить значения этих подач, достаточно провести горизонтальную прямую через рабочую точку **П1**. Пересечение горизонтальной прямой с характеристикой регулируемого насоса **Н1** в точке **П4** дает подачу  $17 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Пересечение горизонтальной прямой с характеристикой нерегулируемого насоса **Н2** в точке **П3** дает подачу  $19 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Приняв допущение, что на каждые 5% регулирования насоса приходится 1% снижения его КПД, нетрудно рассчитать, что КПД насоса **Н1** снизится на 0,8% при его регулировании на 4% и составит 61,2%, а КПД второго насоса не изменится. КПД станции будет вычисляться как среднее арифметическое между КПД двух насосов:

$$\eta_{ст} = (62 + 61,2)/2 = 61,6\%$$

Полезная мощность на выходе станции определяется как площадь под характеристикой станции, ограниченная справа рабочей точкой. Она же примерно равна мощности на выходе насосов:

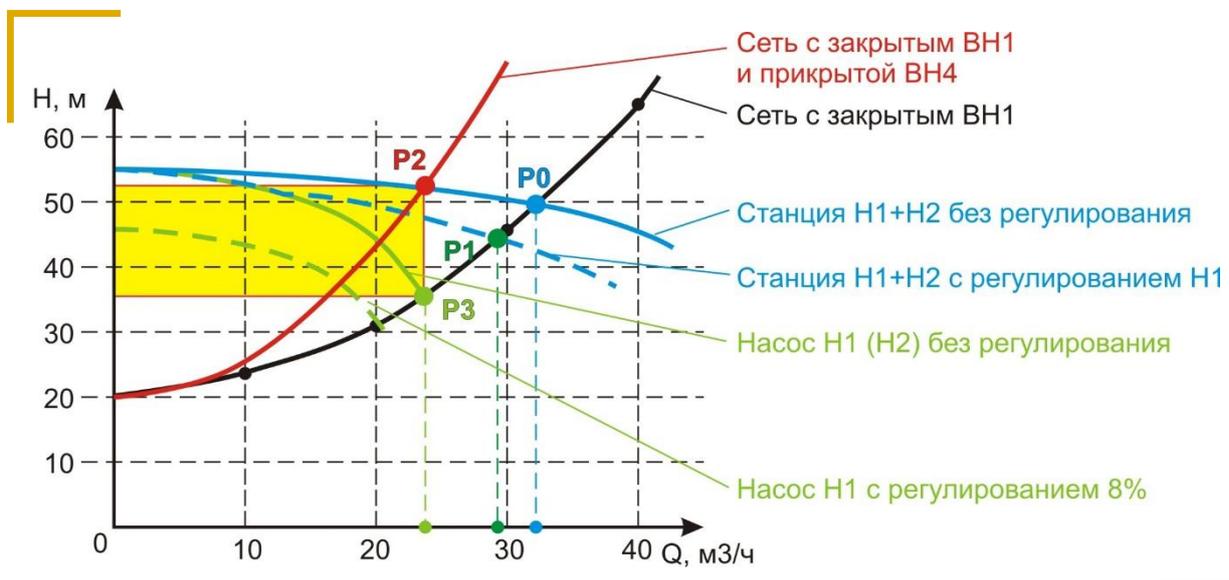
$$N_{нас} = N_{пол} = 5,2 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при среднем КПД обоих насосов  $\eta = 61,6\%$ :

$$N_{потр} = N_{нас} / \eta = 5,2 / 0,616 = 8,5 \text{ кВт.}$$

## Случай 2: закрыт кран ВН1

Возникает случай сниженного водопотребления. Подача станции будет делиться не по трем потребителям, а только по двум. Если регулирование не применять, вместо  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$  каждый потребитель получит  $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ , т.к. рабочей точкой окажется **P0**. Считаем, что такой избыток подачи недопустим.



**Вариант 1: управлять задвижкой ВН4.** Аналогично предыдущему случаю, система управления прикроет задвижку **ВН4**, характеристика станции (кривая  $\rightarrow$ ) не изменится, а характеристика сети (кривая  $\leftarrow$ ) сместится левее. Теперь характеристика сети и станции будут пересекаться в рабочей точке **P2** с подачей  $24 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Прикрытие задвижки **ВН4** вызовет потери энергии, численно равные площади желтого прямоугольника, проходящего через точки **P2** и **P3**. Вычислим потери мощности:

$$\Delta N_{ВН4} = \frac{(H_{P2} - H_{P3}) \cdot Q_{P2} \cdot \rho \cdot g}{3600} = \frac{(52 - 36) \cdot 24 \cdot 1000 \cdot 9,8}{3600} = 1,0 \text{ кВт}$$

Полезная мощность станции определяется как площадь под характеристикой станции без площади желтого прямоугольника, ограниченная справа рабочей точкой:

$$N_{пол} = 2,5 \text{ кВт.}$$

Мощность на выходе насосов больше полезной мощности на величину потерь мощности на задвижке:

$$N_{нас} = N_{пол} + \Delta N_{ВН4} = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД обоих насосов  $\eta = 62\%$ :

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta = 3,5/0,62 = 5,7 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае определится как отношение полезной мощности на выходе станции к потребляемой:

$$\eta_{\text{ст}} = N_{\text{пол}}/N_{\text{потр}} = 2,5/5,7 = 43,8\%.$$

**Вариант 2: управлять насосом Н1.** Система будет управлять частотным преобразователем, который снизит обороты электродвигателя насоса **Н1**. Новая характеристика станции (кривая - - -) пересечется с характеристикой сети (кривая —) в рабочей точке **P1** со значением подачи  $27 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Продолжить снижение частоты вращения насоса **Н1** невозможно, т.к. достигнут предел глубины регулирования  $15\%$ .

**Вариант 3: управлять насосом Н1 и Н2.** Система управления отключит насос **Н2**. Теперь характеристикой станции будет служить характеристика насоса **Н1** (кривая —). Она пересекает характеристику сети (кривая —) вблизи требуемой рабочей точки **P3** со значением подачи  $24 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Полезная мощность на выходе станции определяется как площадь под характеристикой станции, ограниченная справа рабочей точкой. Она же примерно равна мощности на выходе насосов:

$$N_{\text{нас}} = N_{\text{пол}} = 3,1 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД насоса  $\eta = 62\%$ :

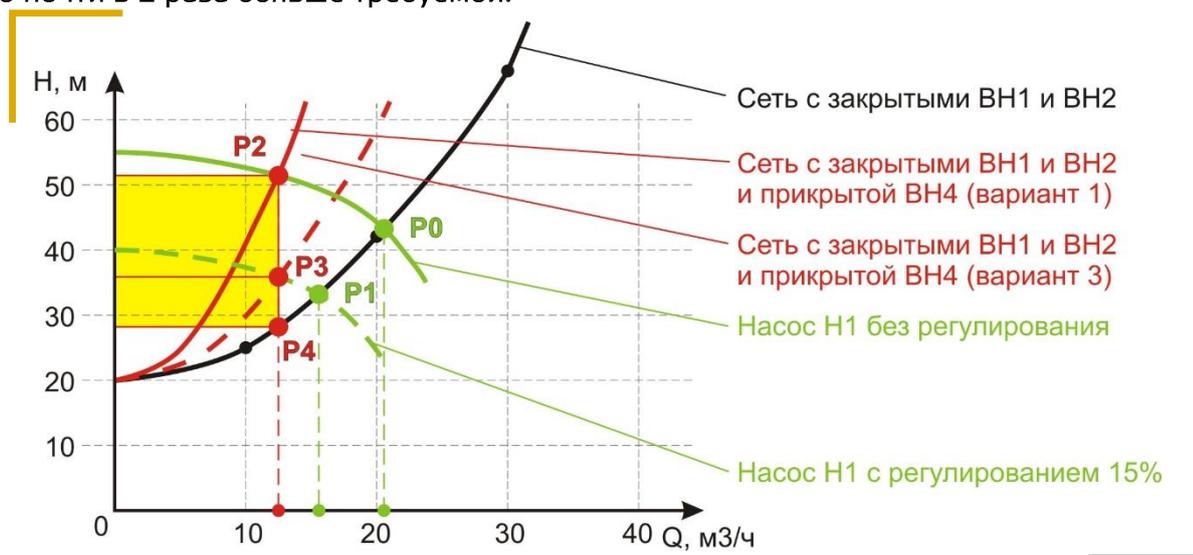
$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta = 3,1/0,62 = 5,0 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае равен КПД насоса:

$$\eta_{\text{ст}} = \eta_{\text{н}} = 62\%.$$

### Случай 3. Закрыты ВН1 и ВН2.

Возникает случай очень малого водопотребления. Насос **Н2** выключен. Потребитель **В** должен получать  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Регулируемый насос **Н1** при пересечении его характеристики (кривая —) с характеристикой сети (—) даст рабочую точку **P0**, соответствующую подаче  $21 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что почти в 2 раза больше требуемой.



Какие варианты регулирования могут быть применены в данном случае?

**Вариант 1: управлять задвижкой ВН4.** Система управления прикроет задвижку **ВН4**, характеристика станции (кривая —) не изменится, а характеристика сети (кривая —) сместится левее (кривая —). Теперь характеристика сети и станции будут пересекаться в рабочей точке **Р2** с требуемым расходом  $Q = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Прикрытие задвижки **ВН4** вызовет потери энергии, численно равные площади большого желтого прямоугольника, проходящего через точки **Р2** и **Р4**. Вычислим потери мощности:

$$\Delta N_{\text{ВН4}} = \frac{(H_{\text{Р2}} - H_{\text{Р4}}) \cdot Q_{\text{Р2}} \cdot \rho \cdot g}{3600} = \frac{(52 - 36) \cdot 24 \cdot 1000 \cdot 9,8}{3600} = 0,8 \text{ кВт}$$

Полезная мощность станции определяется как площадь под характеристикой станции без площади большого желтого прямоугольника, ограниченная справа рабочей точкой:

$$N_{\text{пол}} = 1,1 \text{ кВт.}$$

Мощность на выходе насосов больше полезной мощности на величину потерь мощности на задвижке:

$$N_{\text{нас}} = N_{\text{пол}} + \Delta N_{\text{ВН4}} = 1,1 + 0,8 = 1,9 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД насоса  $\eta = 62\%$ :

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta = 1,9/0,62 = 3,1 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае определится как отношение полезной мощности на выходе станции к потребляемой:

$$\eta_{\text{ст}} = N_{\text{пол}}/N_{\text{потр}} = 1,1/3,1 = 35,5\%.$$

**Вариант 2: управлять насосом Н1.** Система будет управлять частотным преобразователем, который снизит обороты электродвигателя насоса **Н1**. Новая характеристика станции (кривая - - -) пересечется с характеристикой сети (кривая —) в рабочей точке **Р1** со значением подачи  $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Дальнейшее снижение частоты вращения насоса **Н1** невозможно, т.к. достигнута максимально допустимая глубина регулирования  $15\%$ .

**Вариант 3: управлять насосом Н1 и задвижкой ВН4.** При максимально допустимой глубине регулирования насоса **Н1** система управления прикроет задвижку **ВН4**. Рабочая точка, соответствующая подаче  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ , будет находиться на пересечении характеристики станции (кривая - - -) и характеристики сети с прикрытой **ВН4** (кривая - - -). Регулирование насоса **Н1** не повлияет на его КПД, но прикрытие задвижки **ВН4** вызовет потери энергии, численно равные площади малого желтого прямоугольника, проходящего через точки **Р2** и **Р4**. Вычислим потери мощности:

$$\Delta N_{\text{ВН4}} = \frac{(H_{\text{Р3}} - H_{\text{Р4}}) \cdot Q_{\text{Р2}} \cdot \rho \cdot g}{3600} = \frac{(37 - 28) \cdot 12 \cdot 1000 \cdot 9,8}{3600} = 0,3 \text{ кВт}$$

Полезная мощность станции определяется как площадь под характеристикой станции без площади малого желтого прямоугольника, ограниченная справа рабочей точкой:

$$N_{\text{пол}} = 1,1 \text{ кВт.}$$

Мощность на выходе насосов больше полезной мощности на величину потерь мощности на задвижке:

$$N_{\text{нас}} = N_{\text{пол}} + \Delta N_{\text{ВН4}} = 1,1 + 0,3 = 1,4 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность станции при КПД насоса  $\eta = 62\%$ :

$$N_{\text{потр}} = N_{\text{нас}}/\eta = 1,4/0,62 = 2,3 \text{ кВт.}$$

КПД станции в данном случае определится как отношение полезной мощности на выходе станции к потребляемой:

$$\eta_{ст} = N_{пол}/N_{потр} = 1,1/2,5 = 44\%.$$

## Сравнение вариантов регулирования

Сведем полученные значения потребляемой станцией мощности и ее КПД в таблицу и сравним значения. Очевидно, что в 1-м и 2-м случаях простое регулирование задвижкой менее эффективно по сравнению с частотным. В 3-м случае возникает вариант совместного регулирования, обеспечивающий высокий КПД насоса и приемлемый КПД станции.

Случай	Вариант регулирования	Потребляемая мощность $N_{потр}$	КПД $\eta_{ст}$	Экономия в месяц*
1 – Все открыты	Бездействие	8,6 кВт	62%	216 руб.
	Управление ВН4	8,9 кВт	57,3%	0
	<b>Управление насосом Н1</b>	<b>8,5 кВт</b>	<b>62%</b>	<b>288 руб.</b>
2 – Закрыт ВН1	Управление задвижкой ВН4	5,7 кВт	43,8%	0
	Управление насосом Н1		–	
	<b>Управление насосом Н1 и Н2</b>	<b>5,0 кВт</b>	<b>62%</b>	<b>504 руб.</b>
3 – Закрыт ВН1 и ВН2	Управление задвижкой ВН4	3,1 кВт	35,5%	0
	Управление насосом Н1		–	
	<b>Управление насосом Н1 и задвижкой ВН4</b>	<b>2,5 кВт</b>	<b>44%</b>	<b>432 руб.</b>

\* – ежедневная 8-часовая наработка при стоимости 3 руб./1 кВт (относительно самого неудачного варианта регулирования).

**Способностью к выбору варианта регулирования в зависимости от текущих условий водопотребления обладают современные микропроцессорные системы управления, наибольшая эффективность применения которых достигается совместно с частотным регулированием подачи насосов.** Ввиду более высокой стоимости таких станций, особенно по сравнению с электроавтоматическим управлением, быстрого экономического эффекта от их внедрения ожидать не следует, однако благодаря существенному энергосбережению экономический эффект окажется значительно больше в средне- и долгосрочной перспективе (от 3...5 лет).

В любом случае, при выборе системы управления станции следует иметь ввиду характерные свойства каждого вида регулирования:

### Свойства частотного регулирования:

- Высокий КПД станции в пределах диапазона регулирования.
- Высокая стоимость системы управления.
- Ограниченный диапазон изменения частоты вращения для центробежного насоса.

### Свойства регулирования задвижкой:

- Низкий КПД станции из-за потерь энергии от прикрытия задвижки.
- Низкая стоимость системы управления.
- Широкий диапазон регулирования

### Свойства совместного регулирования:

- Самый высокий КПД станции из всех возможных в конкретном случае.
- Высокая стоимость системы управления.
- Широкий диапазон регулирования.

**СНАБЖЕНИЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ «ТРИУ» – ГАРАНТИРУЕТ ПРЕДПРИЯТИЮ ВЫБОР САМОГО ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА РАБОТЫ СТАНЦИИ, ВЫСОКИЙ КПД И НАИМЕНЬШИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ**

## УКРМ – ПОЙМАТЬ МОЩНОСТЬ

### Что такое реактивная мощность?

При работе асинхронных двигателей наряду с потреблением активной (ваттной) мощности, измеряемая в привычных киловаттах (кВт), в электросети протекает реактивно-индуктивная мощность, измеряемая в киловаттамперах (кВАр). Несмотря на то, что **реактивная мощность не поглощает энергии из сети, потери активной мощности растут** из-за снижения пропускной способности сети, выражающейся в потерях напряжения и нагреве проводников.

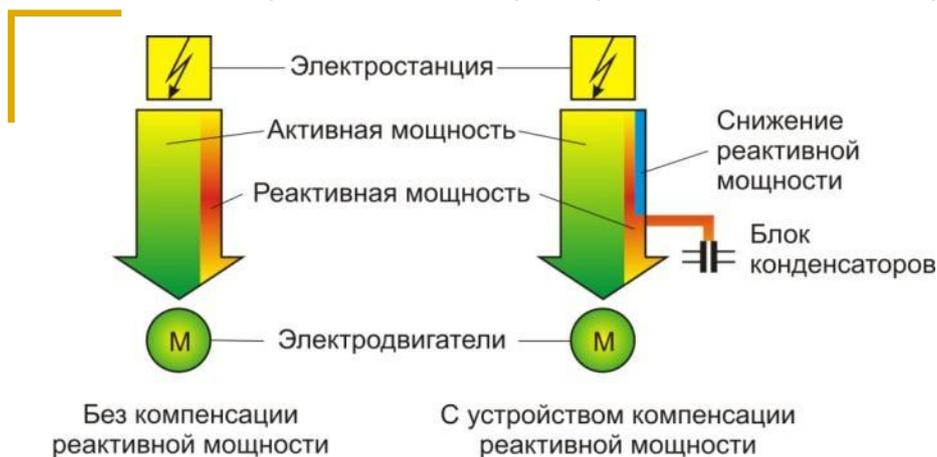
Действие реактивной мощности умозрительно можно представить **на примере стакана воды**. Если сильно плеснуть в него воду из кувшина (передать мощность), часть воды выплеснется обратно, т.е. стакан ввиду своих особенностей принять ее не сможет (электродвигатели тоже не могут принимать часть энергии, иначе они были бы идеальными). Чтобы не терять выплеснувшуюся воду и впоследствии ее использовать, следует установить дополнительную емкость (например, тарелку), в которой она будет собираться. В электросети такой емкостью служат конденсаторы.



**Реактивная мощность** (индуктивные токи) **регламентируется и контролируется государственными органами**. На потребителей, превышающих установленные величины индуктивных токов, **налагаются штрафные санкции**. Ввиду этого, **снижение или полное исключение прохождения реактивной мощности** в электросети **является важным направлением энергосбережения**.

### Сбор реактивной мощности

Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ) производства нашего партнера – ООО «Челябинский завод электрооборудования» – позволяют добиться **частичной компенсации реактивной мощности на 5...9%**. Устройства основаны на блоках конденсаторов, накапливающих реактивную мощность, ввиду чего ее доля в общем потоке снижается. Соответственно, снижаются объемы ее генерирования у источников (электростанций), что позволяет не только экономить расходы на электроэнергию, но и избежать штрафов.



**Полная компенсация реактивной мощности**, по сравнению с частичной, **часто оказывается неэффективной**. Это объясняется ростом затрат мощности на работу самих устройств компенсации, а также существенными денежными затратами на приобретение, установку и обслуживание такого оборудования.

## Эффективность без мощности

На первый взгляд, **выгода от компенсации** реактивной мощности **кажется нулевой**, если объемы ее потребления не превышены или ее учет не ведется, т.е. **платить за нее нет необходимости**. Однако, занимая место в проводниках и нагревая их, реактивная мощность вызывает повышение сопротивления протеканию активной, а следовательно, и повышенное потребление энергии.

Определим ежемесячную экономию от использования УКРМ при следующих условиях:

- активная потребляемая мощность электродвигателей 250 кВт;
- кол-во электродвигателей 4;
- без компенсации  $\cos \phi = 0,81$ , с УКРМ  $\cos \phi = 0,95$  (справочные значения);
- напряжение 380 В;
- суммарное сопротивление кабеля 0,075 Ом (справочное значение);
- стоимость электроэнергии 3,0 руб. / 1 кВт·ч;
- наработка станции в месяц – 720 часов (круглосуточная работа);



Параметр	Без компенсации	УКРМ
Полная мощность электродвигателей	$250 \text{ кВт} \cdot 4 / 0,81 = 1235 \text{ кВА}$	$250 \text{ кВт} \cdot 4 / 0,95 = 1052 \text{ кВА}$
Суммарная мощность конденсаторов*	-	$0,321 \cdot 250 \text{ кВт} \cdot 4 = 128 \text{ кВАр}$
Ток к электродвигателям	$250 \text{ кВт} \cdot 4 / (1,73 \cdot 380 \text{ В} \cdot 0,81) = 1,877 \text{ А}$	$250 \text{ кВт} \cdot 4 / (1,73 \cdot 380 \text{ В} \cdot 0,95) = 1600 \text{ А}$
<b>Снижение тока к электродвигателям</b>	-	<b>277 А</b>
Потери мощности в кабелях	$(1235 \text{ А})^2 \cdot 0,075 \text{ Ом} = 114 \text{ кВт}$	$(1052 \text{ А})^2 \cdot 0,075 \text{ Ом} = 83 \text{ кВт}$
Потери мощности в кабелях ежемесячно	$114 \text{ кВт} \cdot 720 \text{ ч} = 82240 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$	$83 \text{ кВт} \cdot 720 \text{ ч} = 59760 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$
<b>Экономия мощности ежемесячно</b>	-	<b>22480 кВт</b>
Стоимость электроэнергии ежемесячно	$82240 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3 \text{ руб.} / \text{кВт} \cdot \text{ч} = 246\,720,00 \text{ руб.}$	$59760 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3 \text{ руб.} / \text{кВт} \cdot \text{ч} = 179\,280,00 \text{ руб.}$
<b>Экономия денежных средств ежемесячно</b>	-	<b>67 440,00 руб.</b>
<b>Срок окупаемости</b>	-	<b>4...10 мес.</b> (в зависимости от комплектации)

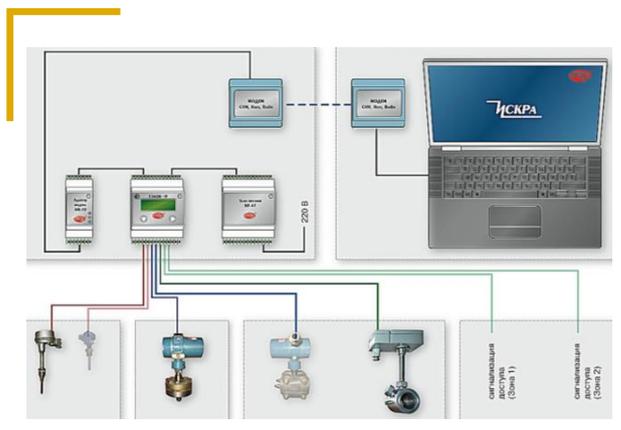
\* – справочные данные: указана рекомендуемая реактивная мощность конденсатора, приходящаяся на 1 кВт активной мощности для обеспечения выбранного увеличения  $\cos \phi$  с 0,81 до 0,95.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ВЫГОДА ОТ УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ – ПИОНЕРСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ «ТРИУ» – ЗНАЧИТЕЛЬНА, БЛАГОДАРЯ МЕНЬШЕМУ ТОКУ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ МОЩНОСТИ НА ПРЕОДОЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НАКОПЛЕННОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.**

## ПРИБОРЫ УЧЕТА

Системы учета позволяют вести на предприятии постоянный контроль над потреблением энергоресурсов. На основе результатов измерений возможно проведение экономического анализа, планирование развития предприятия. Контроль потребления стимулирует предприятие в целом и персонал в частности к энергосбережению, дисциплине и повышению культуры производства.

Системы учета служат простым инструментом для построения надежного автоматизированного управления энергоснабжением, освещением, вентиляцией, сбора и обработки контрольно-учетной информации и т.д. В зависимости от модификации комплектуются различным количеством и видом устройств и приборов.



### Перечень контрольно-измерительных приборов

Для осуществления учета над потребляемыми энергоресурсами наш завод организует на предприятии контрольно-измерительную систему, в которую могут входить приборы в разных исполнениях, количествах и сочетаниях согласно перечню в таблице.

Прибор	Рекомендуемый класс точности	Межповерочный интервал, г	Назначение
Манометр показывающий	0,4...1,5	2...4	Измерение и стрелочная индикация избыточного давления среды
Датчик давления	0,5...1,5	3...4	Измерение избыточного давления среды и передача сигнала
Манометр показывающий дифференциальный	0,25...1,5	3...5	Измерение и стрелочная индикация перепада давления между двумя точками
Датчик давления дифференциальный	0,5...1,5	3...4	Измерение перепада давления между двумя точками и передача сигнала
Вакуумметр показывающий	0,4...1,5	2...4	Измерение и стрелочная индикация вакуумметрического давления среды
Термометр показывающий	1,5...2,5	3...4	Измерение и стрелочная индикация температуры среды
Датчик температуры	1,0...2,5	3...4	Измерение температуры среды и передача сигнала
Расходомер	0,5...1,5	2...3	Измерение объемного расхода среды, проходящей в трубопроводе
Расходомер многопараметрический	0,5...1,5	2...3	Измерение объемного расхода, давления и температуры среды, проходящей в трубопроводе, вычисления
Датчик точки росы	1,0...2,5	2...3	Измерение содержания влаги в сжатом воздухе
Газоанализатор	-	1...3	Измерение фракционного состава газовой среды, протекающей в трубопроводе.
Амперметр показывающий	1,0...2,5	1...3	Измерение и стрелочная индикация силы электрического тока
Вольтметр показывающий	1,0...2,5	1...3	Измерение и стрелочная индикация напряжения
Мультиметр цифровой	1,0...2,5	2...6	Измерение и цифровая индикация силы тока и напряжения, передача сигнала, вычисления

## Сколько утекает?

Рассмотрим пример, когда на предприятии используется пневматический инструмент. Из-за низкой дисциплины и культуры производства, небрежного и невнимательного отношения персонала, утечки сжатого воздуха через изношенные соединения, заклинившие клапана и плохо соединенные шланги повышаются. Большой процент потерь создают утечки при не закрытых на время перерыва кранах или элементарное отсутствие последних. Примем следующие условия:

- рабочее давление в заводской сети 1,0 МПа;
- утечки сжатого воздуха через нарушенные уплотнения и плохо закрытые запорные элементы равны и составляют на каждом 1 м<sup>3</sup>/ч (соответствует слабо различимому звуку выходящего воздуха);
- кол-во источников утечек на производстве 20;
- время перерывов в работе, требующих закрытия крана, в т.ч. обеденный перерыв и пересменка, 2 ч в смену;
- 5-дневная 12-часовая рабочая неделя (12 часов в сутки оборудование не работает);
- затраты электроэнергии на производство 1 м<sup>3</sup> сжатого воздуха давлением 1,0 МПа составляют 0,1 кВт·ч;
- стоимость электроэнергии 3,0 руб. / 1 кВт·ч.



Вычислим, сколько часов в месяц оборудование простаивает. Будем считать, что утечки продолжают всегда, пока оборудование не работает, в т.ч. ночью и в выходные:

$$2 \text{ ч} \cdot 22 \text{ дня} + 12 \text{ ч} \cdot 22 \text{ ночи} + 24 \text{ часа} \cdot 8 \text{ выходных} = \mathbf{500 \text{ ч.}}$$

Определим **объем воздуха**, вылетающего в окружающую среду за месяц:

$$500 \text{ ч} \cdot 1 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 20 \text{ источников утечек} = \mathbf{10000 \text{ м}^3}.$$

Определим **мощность**, затрачиваемую на покрытие утечек за месяц:

$$10000 \text{ м}^3 \cdot 0,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3 = 1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = \mathbf{1 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}}$$

Определим **переплату** за электроэнергию в месяц:

$$1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,0 \text{ руб.}/\text{кВт} \cdot \text{ч} = \mathbf{3000 \text{ руб.}}$$

Таким образом, одна лишь дисциплина помогает **экономить 1 МВт электроэнергии ежемесячно!**

**УСТАНОВКА ПРИБОРОВ УЧЕТА – ПРОСТОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ «ТРИУ» – ПОЗВОЛЯЕТ СВОЕВРЕМЕННО ОБНАРУЖИТЬ И УСТРАНИТЬ УТЕЧКИ ЭНЕРГИИ, ПОВЫСИТЬ ДИСЦИПЛИНУ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПЕРСОНАЛА, ИСКЛЮЧИТЬ НЕОПРАВДААННЫЕ УТЕЧКИ ЭНЕРГИИ.**





ГЕОГРАФИЯ ПРИСУТСТВИЯ

● Дилеры - сервисные центры

● Дилеры

## КОНТАКТЫ

**Адрес для корреспонденции:**

454085, г. Челябинск,  
а/я 8814

**Генеральный директор:**

Ялалетдинов Альберт Раисович

**Приемная:**

Тел./факс: +7 (351) 216-50-50  
E-mail: [chkz@chkz.ru](mailto:chkz@chkz.ru)  
[www.chkz.ru](http://www.chkz.ru)

**Заместитель генерального  
директора:**

Савельев Сергей Сергеевич  
E-mail: [css@chkz.ru](mailto:css@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-75

**Коммерческий директор:**

Васько Александр Александрович  
E-mail: [sever@chkz.ru](mailto:sever@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-31

**Департамент технической поддержки:**

E-mail: [techotdel@chkz.ru](mailto:techotdel@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 970)

**Департамент насосного  
оборудования:**

E-mail: [nigma@chkz.ru](mailto:nigma@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 986)

**Департамент газового оборудования:**

E-mail: [ngd@chkz.ru](mailto:ngd@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 906)

**Департамент холодильного  
оборудования и машин:**

E-mail: [tokarev@chkz.ru](mailto:tokarev@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 915)

**Департамент сервисного  
обслуживания:**

E-mail: [service@chkz.ru](mailto:service@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 920)  
Моб.: +7-912-892-08-88

**Отдел запасных частей:**

E-mail: [service1@chkz.ru](mailto:service1@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50  
(доб. 907, 909, 910)

**Отдел маркетинга:**

E-mail: [market@chkz.ru](mailto:market@chkz.ru)  
Тел.: +7 (351) 216-50-50 (доб. 941)

**Отдел сбыта:**

**Центральный и Приволжский ФО**  
E-mail: [al@chkz.ru](mailto:al@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-24

**Южный и Северо-Кавказский ФО**

E-mail: [ug@chkz.ru](mailto:ug@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-87

**Северо-Западный ФО**

E-mail: [sz@chkz.ru](mailto:sz@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-25

**Уральский ФО**

E-mail: [ural@chkz.ru](mailto:ural@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-78-60  
E-mail: [sever2@chkz.ru](mailto:sever2@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-78-56

**Сибирский ФО**

E-mail: [sibir@chkz.ru](mailto:sibir@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-26

**Дальневосточный ФО**

E-mail: [dv@chkz.ru](mailto:dv@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-28

**Страны СНГ**

E-mail: [sng@chkz.ru](mailto:sng@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-23

**Реализация поршневых  
компрессорных установок  
и пневмоинструмента:**

E-mail: [melnikova@chkz.ru](mailto:melnikova@chkz.ru)  
Тел.: +7-919-111-77-27