



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Специализированное информационно-аналитическое издание
ООО «Челябинский компрессорный завод»

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

Уважаемые коллеги!

Современный уровень развития техники устанавливает высокие требования к энерго- и ресурсосбережению, подразумевающие не только совершенствование конструкций машин и оборудования, но и повышение культуры эксплуатации, а также автоматизацию и контроль работы. В соответствии с этими тенденциями, деятельность *e2t* ориентирована на создание энергоэффективных решений с применением новейших интеллектуальных систем управления. Для достижения максимальной эффективности решений мы применяем комплексный подход, сочетающий в себе универсальный метод «5 шагов энергоэффективности» и набор средств «ТриУ» – управление, утечки, уход.

В издании освещается САУ для компрессорной техники Metacentre («СМС», Бельгия; ООО «Челябинский компрессорный завод», Россия) и насосных агрегатов «HMS Control» (ОАО «Гидромашсервис», Россия) и «Pasys» (ООО «Завод «Аквинта», Россия)

директор ООО «Энергия Времени»
Шамиль Ялалетдинов

ВОЗДУХ ПОД КОНТРОЛЕМ



**Оптимизация режимов работы компрессорных установок
и полный контроль над машинами с интеллектуальными
системами управления «СМС Metacentre» (Бельгия)**

Стр. 3

Руководитель проектов
ЯЛАЛЕТДИНОВ Шамиль Раисович
Тел.: 8-919-111-777-9
8 (351) 775-10-20 (доб. 993)
E-mail: e2t@chkz.ru

Инженер проектов
НИГМАТУЛЛИН Даниль Ринатович
Тел.: 8-951-486-41-21;
8 (351) 775-10-20 (доб. 970)
E-mail: nigma@chkz.ru

Редактор
ЛАЙКО Константин Константинович
Тел.: 8 (351) 775-10-20 (доб. 980)
E-mail: laiko@chkz.ru

Издание: №1 от 15.10.15
Подписано в печать: 22.10.15
Тираж: 200 экз.

454085, г. Челябинск, пр. Ленина, 2-Б, а/я 8814; тел./факс: 8 (351) 775-10-20;
e-mail: e2t@chkz.ru; портал: <http://energy2time.ru/>

УПРАВЛЕНИЕ «METACENTRE»

Специализированные интеллектуальные системы управления на базе программируемых контроллеров «Metacentre» («СМС», Бельгия) применяются при построении компрессорных станций (ЗАО «ЧКЗ», Россия). В зависимости от модификации, обладают рядом функций:

- 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.

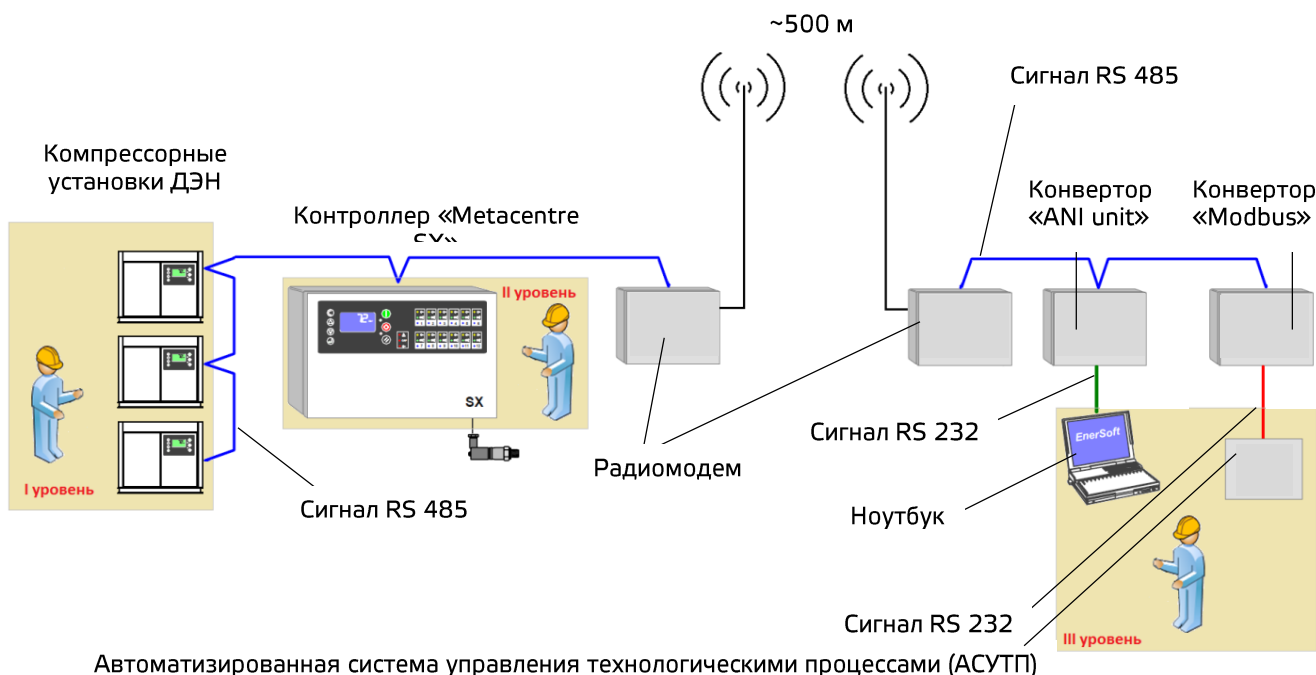


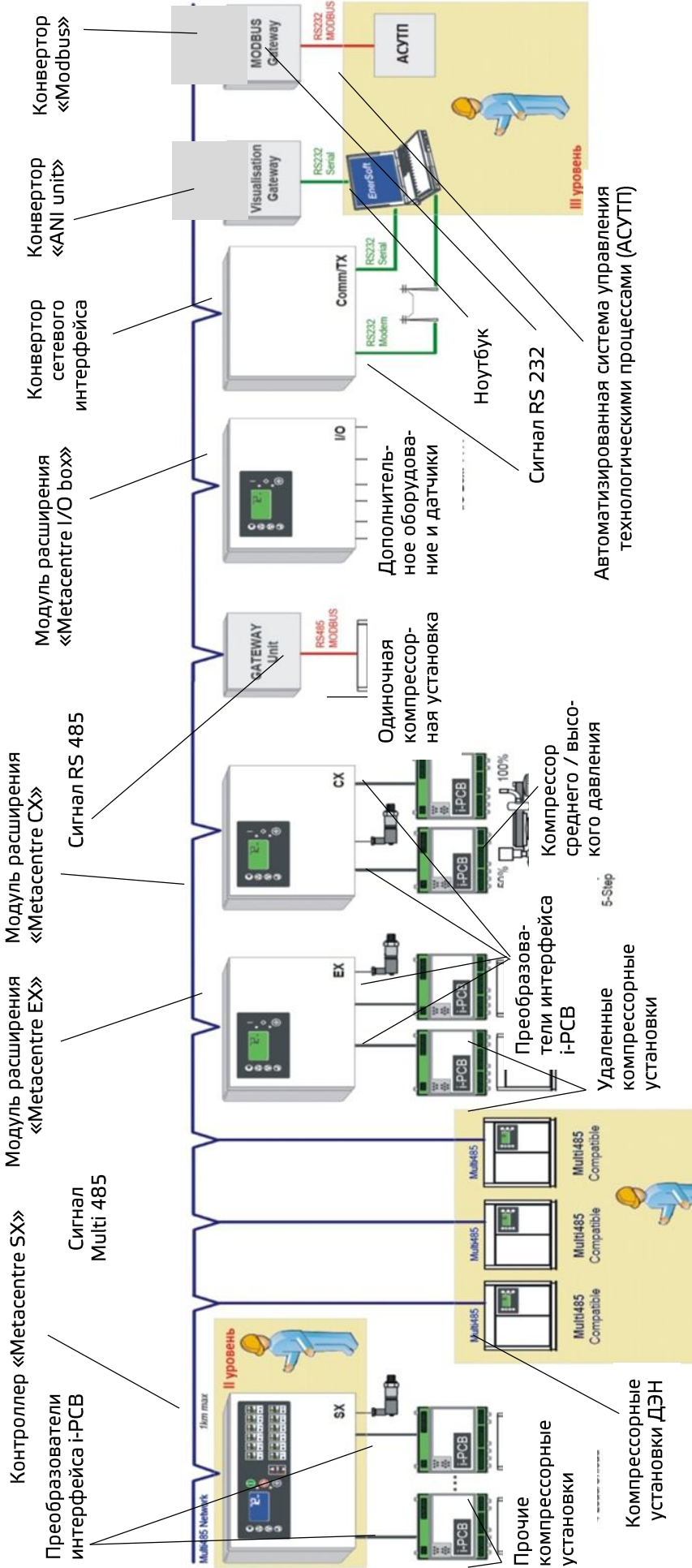
МОДИФИКАЦИИ И СВОЙСТВА

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 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.





На рисунке представлен расширенный вариант управления компрессорной станцией. Сигналы с блоков компрессорных установок ДЭН поступают в контроллер «Metacentre SX». При наличии других установок, блоки управления которых не родственны «Metacentre», применяются преобразователи интерфейса i-PCB.

Удаленные компрессорные установки подключаются к системе управления через модуль «Metacentre EX». При необходимости используются преобразователи интерфейса.

При наличии на станции установок среднего или высокого давления используется модуль «Metacentre CX», как правило, совместно с преобразователями интерфейса.

Одиночная компрессорная установка подключается к системе управления через приемопередатчик сигнала и не требует установки контроллера «Metacentre».

Дополнительное оборудование (охладители, осушители, фильтры, дренажные устройства и т.п.) и датчики (давления, расхода, температуры и т.п.) подключаются через специальный модуль «Metacentre I/O box».

Для визуализации и управления работой станции с персонального компьютера (ноутбука) применяются конвертеры, преобразующие поступающие сигналы с контроллеров и модулей расширения в сигнал RS 232. Его передача осуществляется по проводному или радио-каналу. Конвертер «Modbus» позволяет передавать управление в вышестоящие АСУТП.

МОДУЛЬ РАСШИРЕНИЯ «METACENTRE I/O BOX»

В случае, когда для организации управления стандартных входов / выходов не хватает, может быть применен дополнительный блок ввода-вывода «I/O box» (in/out box). Обычно блок необходим для приема сигналов от дополнительного оборудования (устройств охлаждения и очистки сжатого воздуха, осушителей, фильтров, дренажа), датчиков давления, температуры, точки росы и т.д.

Блок ввода-вывода присоединяется к системе управления Metacentre при помощи промышленной 2-проводной сети передачи данных RS 485.

В каждой модели I/O Box есть:

- цифровые устройства ввода для мониторинга каждого устройства, подключенного к системе или для автоматизации всей системы;
- аналоговые входы для мониторинга сенсорных устройств, измеряющих давление, перепад давлений, температуру, точку росы, расход воздуха, ток, мощность, уровень вибрации подшипника и т.д.
- релейные выходы для применения технологии «Виртуальное реле», функции которого передаются от любого совместимого узла, присоединенного к сети, чтобы использовать любую доступную информацию о статусе или состоянии сети системы.



МОДУЛЬ РАСШИРЕНИЯ «METACENTRE EX BOX»

«EX Box» (только для «Metacentre XC») обеспечивает дополнительную связь с удаленно расположенными компрессорами, размещается рядом с отдаленным компрессором или группой компрессоров.

Каждый модуль имеет специальный аналоговый вход «дистанционный контроль давления», который можно использовать вместе с программой «Баланс давления» контроллера XC. Для поддержки других возможностей интеграции системы имеются специальные вспомогательные входы и выходы.

КОНВЕРТОР ПРОТОКОЛА «METACENTRE MODBUS GATEWAY»

Конвертор необходим для стыковки систем управления «Metacentre» с общепромышленными АСУТП по протоколу «Modbus RTU» (remote terminal unit – удаленный терминал), который является протоколом типа «главный – подчиненный».



КОМПЛЕКТ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ «METACENTRE VISUAL KIT»

Компьютерная визуализация основана на приеме-передатчике помехозащищенных радиосигналов «ANI unit» (active network interface) и программном обеспечении «Enersoft». Программа позволяет получить основную информацию о состоянии каждого элемента, входных / выходных каналах управления, уровне давления и среднем КПД системы по сигналам с блоков управления компрессорными установками и датчикам давления, установленным в различных точках пневмосети.

В таблице описана базовая комплектация оборудования. На рисунке приведен пример отображения информации на экране персонального компьютера.

Наименование	Назначение
Приемо-передатчик «ANI unit»	Модуль, принимающий сигнал от «Metacentre» по протоколу RS 485 и передающий персональному компьютеру (ноутбуку) по протоколу RS 232. Модуль устанавливается на расстоянии до 1000 метров от компрессорных установок и контроллера «Metacentre».
Ноутбук с «Enersoft»	Программа визуализация для систем сжатого воздуха, осуществляющая мониторинг состояния системы в режиме реального времени, наблюдение за вспомогательным оборудованием, сигнализацию, ведущая отчетность и регистрацию данных, а также ряд других специфических функций.

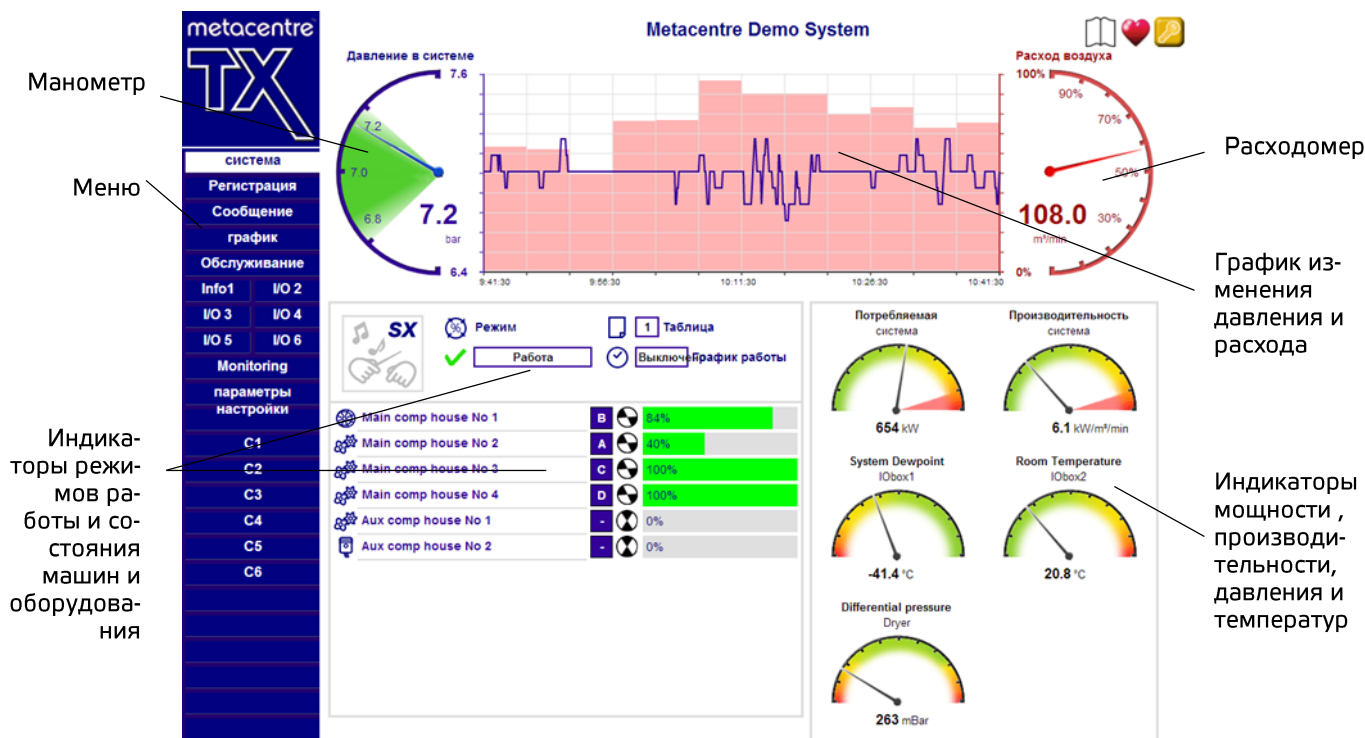


Пример отображения информации в программе «Enersoft»

КОМПЛЕКТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ «METACENTRE TX»

Комплект, обладая теми же свойствами, что и «Enersoft», предоставляет наиболее полную визуализацию состояния пневмосети, машин и агрегатов, отображает динамику потребления сжатого воздуха и изменения рабочего давления в сети, позволяет удаленно управлять системой и осуществлять полный контроль над каждым ее элементом через HTML / Java в режиме реального времени. Поддерживает возможность отправки SMS и/или e-mail сообщений или отчетов о состоянии системы.

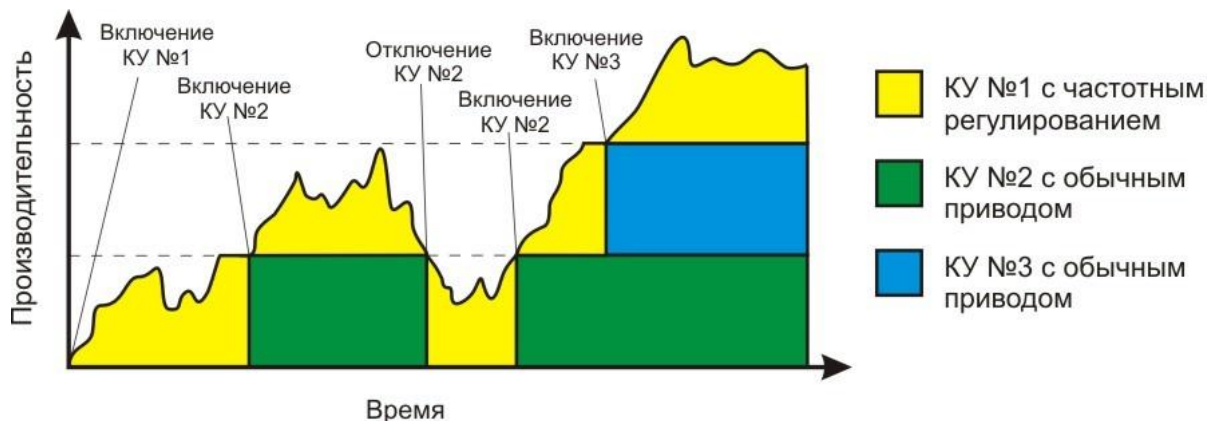
«Metacentre TX» имеет функцию хранения файлов, которые могут быть оформлены в виде файлов типа .csv для просмотра в совместимых программах, например, Microsoft Excel.



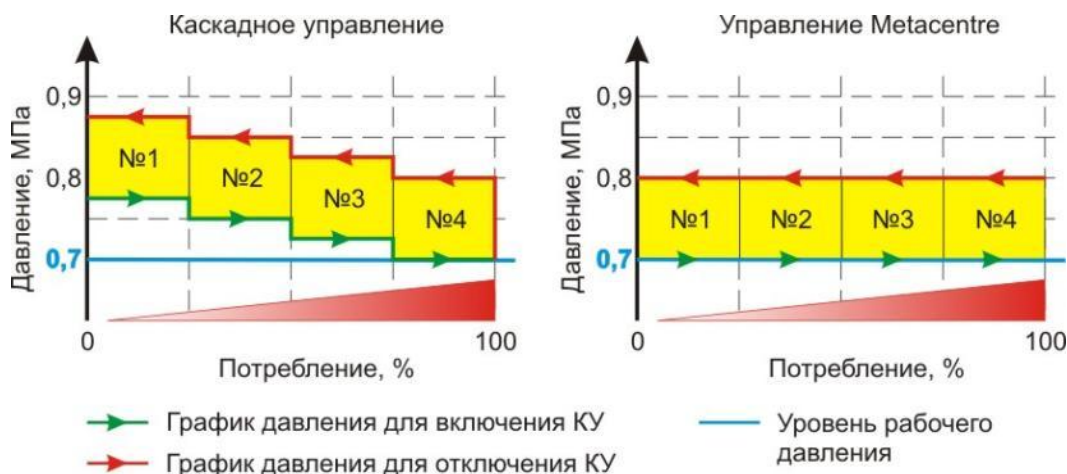
Пример отображения информации в программе «TX»

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

1. Непрерывное регулирование производительности с помощью 1-ой компрессорной установки с изменяемой частотой вращения приводного двигателя (частотным регулированием) исключает режим перепроизводства или недопроизводства сжатого воздуха при изменении его потребления.



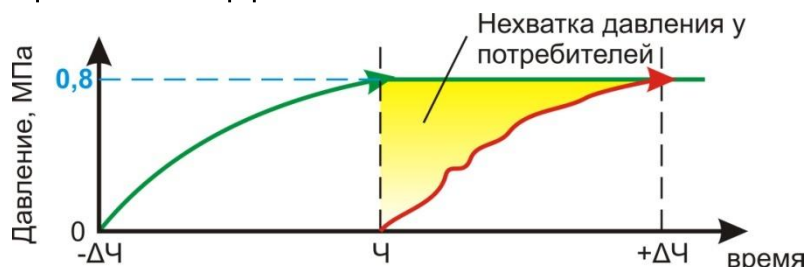
2. Классическая каскадная схема управления имеет достаточно широкий диапазон между давлениями нагрузки и разгрузки ($\Delta p \approx 0,06$ МПа), что увеличивает максимальное давление в сети и, соответственно, среднее. Эксплуатационные данные свидетельствуют, что увеличение давления на 0,1 МПа повышает затраты электроэнергии на 6 ... 8%. «Metacentre» позволяет минимизировать значение $\Delta p \approx 0,02$ МПа. На рисунке изображен процесс включения и отключения компрессорных установок (КУ) для обоих вариантов:



В каскадной схеме каждая следующая КУ загружается при понижении давления в среднем на 0,025 МПа из-за нехватки производительности предыдущей (см. зеленую линию). Соответственно, чтобы при достижении 100% потребления при рабочем давлении были загружены все 4 КУ, перепад давления должен составить 0,075 МПа (давление снизится 3 раза по 0,025 МПа с 0,775 до 0,7 МПа). При этом давление не должно опуститься ниже рабочего 0,7 МПа. Разгрузка КУ при снижении потребления, как правило, производится с запасом 0,1 МПа (см. красную линию), поэтому КУ №4 отключится только при достижении давления в системе 0,8 МПа, КУ №3 – при повышении давления на 0,025 МПа и т.д. Максимальное давление в системе при каскадном регулировании составит 0,875 МПа (разгружается КУ №1).

Преимуществом системы Metacentre служит то, что КУ вводятся в работу контроллером, управляющим КУ не по фактическому перепаду давления, а анализирующим скорость снижения / повышения давления и принимающему решение о загрузке / разгрузке КУ соответственно. За счет этого в графике работы исчезает ступенчатость. Контроллер выявляет кратковременные изменения давления, при которых воздействие на режим работы КУ не эффективен. Metacentre может быть настроен под специфические требования и режимы конкретного предприятия.

3. Предварительное заполнение пневмосети производит 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, 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 может регулироваться в зависимости от характеристик пневмосистемы. После заполнения «Metacentre» оставит в работе необходимое количество компрессорных установок для поддержания давления и расхода сжатого воздуха.



Как оценить экономическую выгоду системы «Metacentre» перед классическим каскадным регулированием?

Рассмотрим пример построения компрессорной станции на базе $n = 4$ компрессорных установок с мощностью $N = 132$ кВт каждая. Определим ежемесячную экономическую выгоду s , руб. Примем коэффициент загрузки оборудования в обоих случаях $k = 0,8$, рабочее давление $p = 0,7$ МПа, стоимость электроэнергии $e = 3,0$ руб./ 1 кВт·ч, наработку в месяц $h = 720$ ч (24-часовой рабочий день) и, основываясь на эмпирической зависимости повышения затрат электроэнергии от роста среднего давления ($\alpha = 0,7$ МПа⁻¹ или 7% на каждые 0,1 МПа), произведем вычисления:

Параметр	Каскадная схема управления	Управление Metacentre
Среднее давление в сети	$p_K = 0,788$ (МПа)	$p_{MC} = 0,750$ (МПа)
Коэффициент уровня среднего давления	$a_K = 1 - \alpha \cdot \frac{p_K - p_K}{p_K}$ $a_K = 1 - 0,7 \cdot \frac{0,788 - 0,788}{0,788} = 1$	$a_{MC} = 1 - \alpha \cdot \frac{p_K - p_{MC}}{p_K}$ $a_{MC} = 1 - 0,7 \cdot \frac{0,788 - 0,750}{0,788} = 0,97$
Средняя потребляемая мощность	$N_K^{общ} = N \cdot n \cdot k \cdot a_K$ $N_K^{общ} = 132 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 422,4$ (кВт)	$N_{MC}^{общ} = N \cdot n \cdot k \cdot a_{MC}$ $N_{MC}^{общ} = 132 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 0,97 = 409,7$ (кВт)
Затраты мощности ежемесячно	$N_K^{мес} = N_K^{общ} \cdot h$ $N_K^{мес} = 422,4 \cdot 720 = 304128$ (кВт·ч)	$N_{MC}^{мес} = N_{MC}^{общ} \cdot h$ $N_{MC}^{мес} = 409,7 \cdot 720 = 294984$ (кВт·ч)
Сбережение энергии от Metacentre ежемесячно	$\Delta N = N_K^{мес} - N_{MC}^{мес}$ $\Delta N = 304128 - 294984 = 9144$ (кВт·ч)	
Стоимость электроэнергии для станции ежемесячно	$S_K^{мес} = N_K^{мес} \cdot e$ $S_K^{мес} = 304128 \cdot 3 = 912384,00$ (руб.)	$S_{MC}^{мес} = N_{MC}^{мес} \cdot e$ $S_{MC}^{мес} = 294984 \cdot 3 = 884952,00$ (руб.)
Экономическая выгода от Metacentre ежемесячно	$s = S_K^{мес} - S_{MC}^{мес}$ $s = 912384,00 - 884952,00 = 27432,00$ (руб.)	

ОТВЕТ:

Экономическая выгода от применения Metacentre, по сравнению с каскадным регулированием, составляет $s = 27432,00$ (руб./мес.) при сбережении энергии $\Delta N = 9144$ (кВт·ч/мес.).

УПРАВЛЕНИЕ «Pasys»

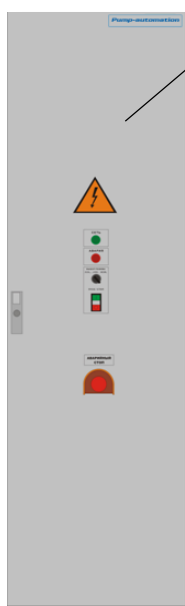
Станции автоматического интеллектуального управления «Pasys» (pump automation system, ООО «Завод «Аквинта», Россия) применяются с центробежными насосами для водоснабжения, в т.ч. скважинного, водоотведения, отопления, вентиляции и кондиционирования с параметрами оборудования:

- до 6 насосов;
- напряжения питания 380 В и 6000 В, по запросу 690 В и 10000 В;
- от 5 кВт (ориентировочно) до 630 кВт (при 380 В), до 25000 кВт (при 6000 В).
- 3-фазное питание.

Главным преимуществом систем служит высокая степень стандартизации и унификации решений, что позволяет клиенту самостоятельно подготавливать типовой проект за несколько минут с помощью интернет-решателя, повышает технологичность и надежность продукции и снижает ее стоимость.



СОСТАВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



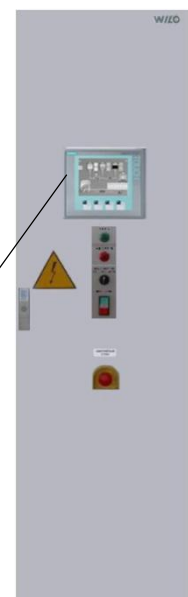
Силовой модуль (силовой шкаф):

- исполнение отдельно стоящим или в сборе с другими силовыми модулями
- регулирование насосов и запорно-распределительной аппаратуры
- встроенные защиты по току и напряжению;
- частичная визуализация состояния станции;
- запираение на замок.



Интеллектуальный модуль (шкаф управления):

- подробная визуализация работы;
- настройка всех параметров;
- интеграция в вышестоящие АСУТП;
- размещение в корпусе силового модуля по требованию заказчика.



В системах управления используются комплектующие мировых производителей электроники и электротехники, могут быть установлены по желанию заказчика:

SIEMENS

Danfoss

Schneider
Electric

ABB

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Электронный программируемый блок управления, служащий главным элементом интеллектуального модуля, анализируя состояние системы по датчикам давления, температуры, вибрации и т.п., выбирает определенный алгоритм управления насосной станцией, что позволяет выполнять широкий спектр функций, основные из которых приведены в таблице.

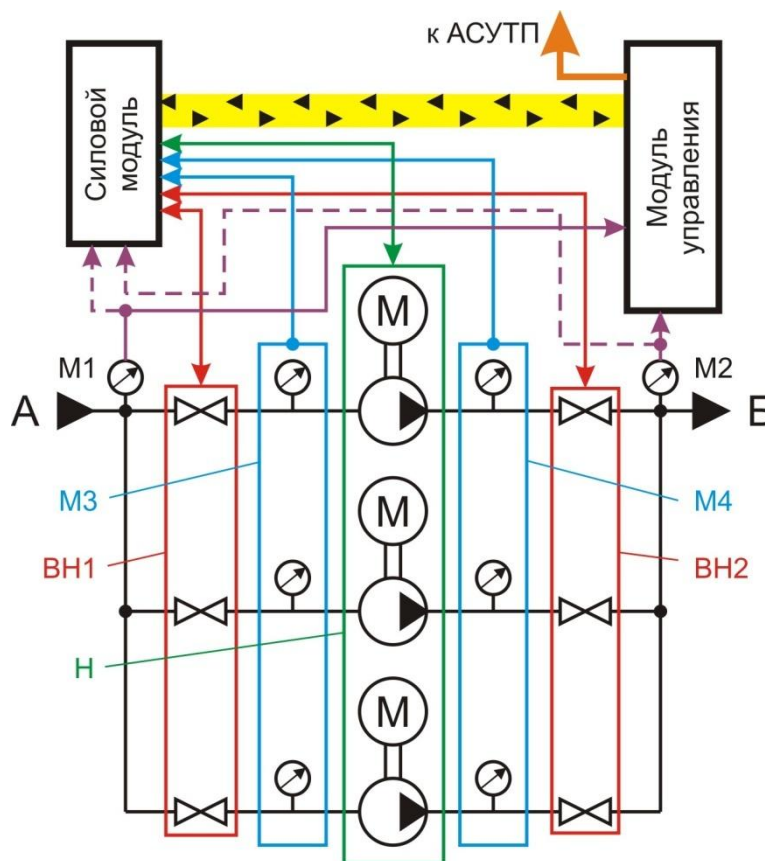
Функция	Краткое описание
Поддержание давления на выходе станции	Поддержание давления в выходном трубопроводе по датчику давления в заданных пределах частотным регулированием и / или подключением / отключением дополнительных насосов.
Поддержание давления на входе станции	Поддержание давления во всасывающей магистрали по датчику давления в заданных пределах частотным регулированием и / или подключением / отключением дополнительных насосов.
Поддержание перепада давления	Поддержание перепада давления на станции по датчикам давления в подводящем и отводящем трубопроводах частотным регулированием и / или подключением / отключением дополнительных насосов.
Прямое / обратное регулирование	Превышение регулируемого параметра вызывает снижение подачи (отключение насосов) / вызывает увеличение подачи (подключение насосов)
Ротация насосов	Контроль за наработкой насосов, периодический останов насоса с большей наработкой и одновременный пуск насоса с меньшей наработкой
Резервирование	Ограничение количества одновременно работающих насосов («плавающее резервирование») или выделение конкретного насоса (насосов) в резерв без возможности ротации
Тестовый прогон	Запуск простаивающего длительное время насоса для предотвращения облитерации улов трения, в т.ч. из-за осаждения солей из воды.
Синхронное регулирование	Перевод всех частотно регулируемых насосов в режим основного насоса, одинаковое изменение частоты вращения всех насосов.
Контроль прорыва	Остановка насосной станции по высокой скорости снижения давления в напорном трубопроводе с отключением силовых автоматических выключателей.
Контроль нулевого расхода	Работа основного насоса на минимальной частоте вращения и наименьшем допустимом давлении (в режиме энергосбережения) при малом водоразборе.
Внешнее управление	Выполнение принудительных команд от внешней / вышестоящей САУ: «аварийное отключение», «приостановить работу», «включить все насосы»
День / ночь	Выбор оптимальных параметров и режимов работы в зависимости от времени суток
Удаленная диагностика	Подключение завода-изготовителя по требованию заказчика к блокам управления для удаленной диагностики, поиска и устранения неисправностей или консультации по проведению ремонтно-восстановительных работ.

ТИПОВЫЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМ

На рисунке приведена типовая схема построения управления для насосной станции магистрального водоснабжения (повышения давления). Группа центробежных электронасосных агрегатов Н забирает воду из точки подключения А к магистральному водопроводу и направляет под определенным давлением потребителю через точку подключения Б к напорному водопроводу. Изменение водоразбора потребителями требует применения определенных алгоритмов регулирования.

Для определения состояния станции установлены датчики:

- М1 – давление на входе станции;
- М2 – давление на выходе станции;
- М3 – давление на входе насосного агрегата;
- М4 – давление на выходе насосного агрегата;
- ВН1 – датчик управляемой задвижки на входе насосного агрегата;
- ВН2 – датчик управляемой задвижки на выходе насосного агрегата.
- М – датчики состояния электродвигателя (вибрации, температуры)



Все датчики могут быть подключены к силовому модулю, т.к. он наиболее близок к насосным агрегатам, что сокращает протяженность кабелей. От силового модуля сигналы передаются по помехозащищенному кабелю к модулю управления по протоколам «Profibus DP» (с автоматикой «Siemens») или «CanOpen» (с автоматикой «Schneider electric»). Датчики давления М1 и М2 стандартно подключаются непосредственно к модулю управления.

Используя интеллектуальный алгоритм модуль управления обрабатывает сигналы с датчиков и направляет определенные команды на работу электродвигателей М насосов и задвижек ВН1 и ВН2, обеспечивая выполнение станцией назначенных функций и защиту при превышении контролируруемыми параметрами заданных пределов.

На рисунке приведена типовая схема построения управления для насосной станции водоотведения (скважинного водоснабжения). Группа центробежных электронасосных агрегатов Н забирает воду из бака Б (емкости, скважины) и направляет под определенным давлением потребителю через точку подключения В к напорному водопроводу. Изменение водоразбора потребителями или снижение уровня воды в баке Б требует применения определенных алгоритмов регулирования.

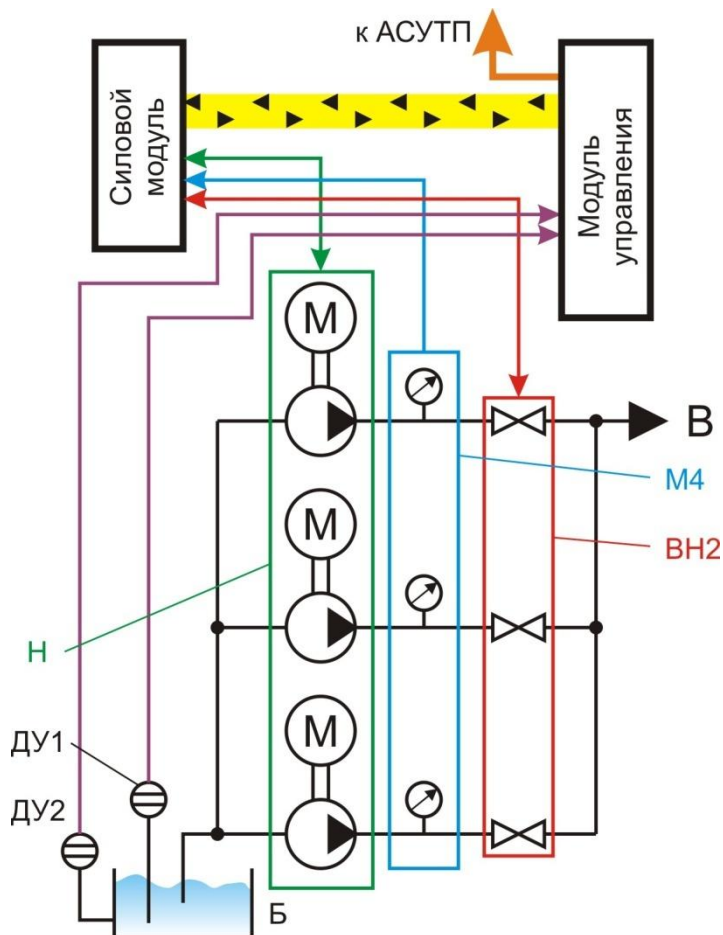
Для определения состояния станции установлены датчики:

- М4 – давление на выходе насосного агрегата;
- ВН2 – датчик управляемой задвижки на выходе насосного агрегата.
- ДУ1 – пропорциональный датчики уровня воды в баке;
- ДУ2 – датчик критического уровня воды в баке;
- М – датчики состояния электродвигателя (вибрации, температуры)

Как правило, датчики уровня подключены к модулю управления, а другие – к силовому модулю. Связь модулей и управление агрегатами станции осуществляется аналогично варианту магистрального водоснабжения с той разницей, что для выполнения станцией заданных функций используются другие интеллектуальные алгоритмы управления.

Для обоих вариантов управления доступны:

- связь с вышестоящими системами управления (АСУТП);
- объединение в группы при необходимости управления более 6-ю насосами с помощью дополнительного интеллектуального модуля.
- визуализация работы станции на персональном компьютере;
- удаленный доступ к управлению через радио-канал или оператора мобильной связи;
- расширение количества контролируемых параметров путем ввода дополнительных датчиков по требованию клиента;
- обновление интеллектуальных алгоритмов (программного обеспечения) от завода-изготовителя.





Как оценить эффективность интеллектуальной системы управления насосами?

Главным преимуществом интеллектуальной системы управления перед классической электроавтоматикой является способность не просто действовать по сигналу с датчиков, а анализировать их, рассчитывать экономичный режим по заложенным зависимостям и, в зависимости от конфигурации сигналов и результатов расчетов, выбирать эффективный режим регулирования. Рассмотрим наиболее простой пример работы обеих систем на примере переменного водопотребления жильцами дома.

Пусть имеется три потребителя А, Б и В, получающие воду от насосной станции, в которую входят два одинаковых насоса Н1 и Н2 общей установленной мощностью $N = 10$ кВт и общим КПД по $\eta = 62\%$, причем двигатель одного из них подключен к преобразователю частоты. Построим характеристики сети $H_{\text{сети}} = f(Q)$ при перекрытии потребителем А, а затем и потребителем Б соответствующих кранов ВН1 и ВН2.

Гидравлическая схема и поля характеристик и процесс их изменения приведены на нижеследующих рисунках.

Примем значения величин и допущения. Пусть внутренний диаметр общей трубы (до т. О) $d = 80$ мм, а труб-ответвлений (после т. О) одинаков и равен $d_1 = 40$ мм. Пусть длины, материал и состояние труб-ответвлений одинаковы, т.е. поток Q при полностью открытых кранах ВН1, ВН2 и ВН3 разделяется между потребителями А, Б и В в равных долях $Q_1 = Q/3$. Пусть длина общего трубопровода $L = 200$ м, а каждого трубопровода к потребителям $L_1 = L/2 = 100$ м. Пусть потребители находятся на высоте $H_{\text{ст}} = 20$ м, при этом подача станции при всех открытых кранах должна быть $Q_{\text{max}} \geq 36$ м³/ч. Будем полагать, что коэффициент гидравлического трения постоянен $\lambda = 0,025$, а все местные сопротивления элементов исчезающе малы по сравнению с протяженностью трубопроводов.

Для построения характеристики сети будем использовать уравнение Бернулли в виде

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

где Δh_L – потери энергии в общем трубопроводе;
 Δh_1 – потери энергии в ответвлениях.

Для определения потерь энергии в трубопроводах используем зависимости

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

Учитывая значения величин и зависимости между ними, принятые выше, выведем окончательное уравнение для построения характеристики сети:

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

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

Построим характеристики сети для 3-х вариантов открытия кранов по 4 значениям расхода для каждой характеристики. Результаты вычислений сведем в таблицу. На одном поле с характеристиками сети разместим характеристику насоса.

Поведение потребителей	Расход в ответвлении	Напор в сети $H_{\text{сети}}$, м при $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$			
		10	20	30	40
Открыты все	$Q_1 = Q/3$	22	28	38	52
Закрыт ВН3	$Q_1 = Q/2$	23	31	46	65
Закрыт ВН3 и ВН2	$Q_1 = Q$	25	41	68	85

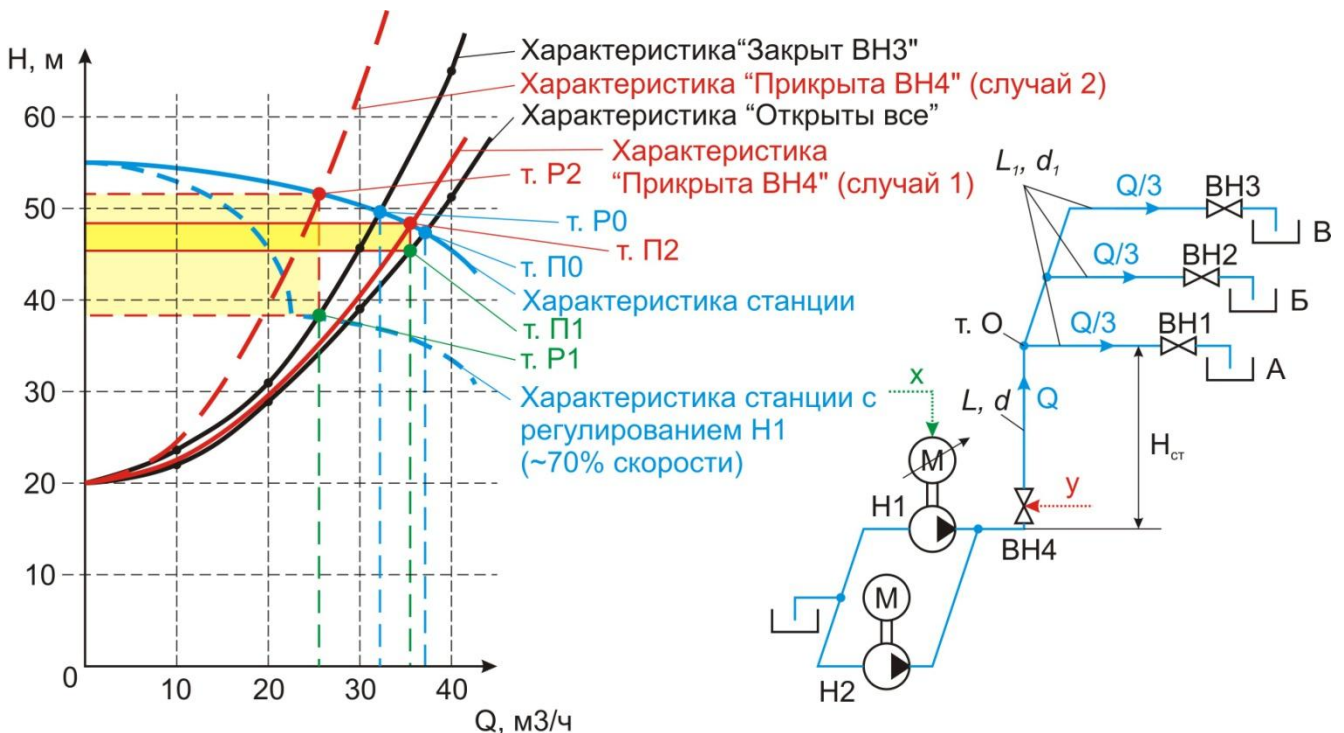
Как бы тщательно не были проведены расчеты и подобраны насосы, характеристика станции никогда не пересечет характеристику сети в точке с требуемым расходом, поэтому необходимо осуществлять регулирование станции. Рассматривая три случая поведения потребителей, будет сравнивать ориентировочный КПД станции при работе электроавтоматики и интеллектуальной системы управления.

1. Открыты все краны. Условие $Q = 37 \text{ м}^3/\text{ч} > 36 \text{ м}^3/\text{ч}$ соблюдается (т. П0 смещена вправо от точки минимального водопотребления П1).

Электроавтоматика, настроенная на обеспечение подачи каждому потребителю $Q = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$, прикроет задвижку ВН4, характеристика станции (сплошная синяя линия ----) не изменится, а характеристика сети (сплошная красная линия ----) сместится левее до т. П2. При этом гидравлическое сопротивление задвижки ВН4 возрастет и вызовет потери энергии, численно равные площади желтого прямоугольника, проходящего через точки П1 и П2.

Интеллектуальная система, если настройки допускают превышение расхода на $\Delta Q = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$, производить регулирование не будет, КПД станции не изменится, и жители отметят «хороший напор» в часы наибольшего водопотребления.

Система управления	Потери энергии, кВт	КПД станции, %
Электроавтоматика	0,25	60
Интеллектуальная	0	62



Регулирование при всех открытых кранах и при перекрытом ВН3

2. Закрыт кран ВН3. Возникает случай снижения водопотребления. Подача станции в т. О будет делиться не по трем потребителям, а только по двум. Если насосы не регулировать, то вместо $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ каждый потребитель получит $16 \dots 17 \text{ м}^3/\text{ч}$, (т. Р0).

Электроавтоматика, аналогично предыдущему случаю, прикроет задвижку ВН4, характеристика станции (сплошная синяя линия ----) не изменится, а характеристика сети (штриховая красная линия - - -) сместится левее до т. Р2. Потери энергии на задвижке численно равны площади желтого прямоугольника, проходящего через точки Р1 и Р2.

Интеллектуальная система будет управлять частотным преобразователем, который снизит обороты электродвигателя насоса Н1. Характеристика станции будет снижаться (штриховая синяя линия - - -) до достижения точки Р1. При этом КПД регулируемого насоса снизится в среднем на 1% на каждые 5% снижения скорости вращения (в нашем случае – около 6%).

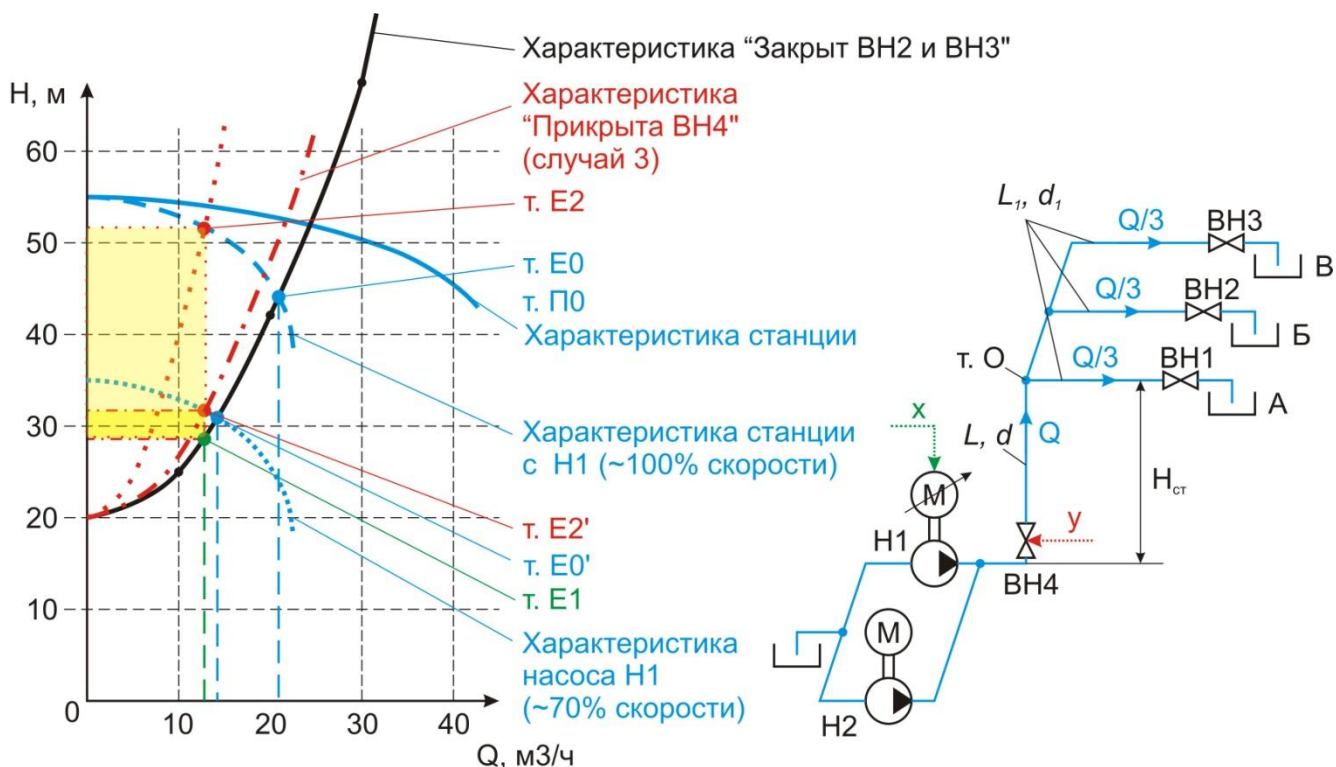
Система управления	Потери энергии, кВт	КПД станции, %
Электроавтоматика	1,0	52
Интеллектуальная	0,3	59

3. Закрыты ВН2 и ВН3. При малом водопотреблении обе системы управления отключают нерегулируемый насос Н2. Потребитель А будет получать всю подачу от станции с одним работающим насосом Н1, равную $21 \text{ м}^3/\text{ч}$ (т. Е0).

Электроавтоматика прикроет задвижку ВН4, характеристика станции (штриховая синяя линия $- \cdot - \cdot -$) не изменится, а характеристика сети (пунктирная красная линия $- \cdot - \cdot -$) сместится левее до т. Е2. Потери энергии на задвижке численно равны площади желтого прямоугольника, проходящего через точки Е1 и Е2.

Интеллектуальная система будет управлять частотным преобразователем, который снизит обороты электродвигателя насоса Н1. Характеристика станции будет снижаться (пунктирная синяя линия $- \cdot - \cdot -$) до достижения точки Е0'. Снизить подачу насоса частотным регулированием дальше до т. Е1 не представляется возможным, т.к. КПД насоса резко уменьшится, поэтому интеллектуальная система будет регулировать задвижку ВН4, что окажется энергетически выгоднее, но сместит характеристику сети (штрих-пунктирная красная линия) до точки Е2'.

Система управления	Потери энергии, кВт	КПД станции, %
Электроавтоматика	0,8	54
Интеллектуальная (частотное+задвижка)	0,3+0,1	58
Интеллектуальная (только частотное)	1,7	35



Регулирование при всех открытых кранах и при перекрытом ВН3

ОТВЕТ:

Применение интеллектуальной системы управления для обеспечения соответствия подачи потреблению обеспечивает экономию 2 ... 7% от установленной мощности станции. Следует учитывать, что современные интеллектуальные системы функционируют по более сложным алгоритмам и имеют большое количество различных функций, чем в рассмотренном примере, что обеспечивает дополнительную экономию энергии.

УПРАВЛЕНИЕ «HMS Control»

Станции автоматического управления центробежными насосами «HMS Control» (ОАО «Ливгидромаш», Россия) в зависимости от модификации применяются

- в водном хозяйстве и ЖКХ (водозабор, водоснабжение, автоматическое наполнение водонапорных башен, дренаж, канализация, циркуляция, питание котлов);
- в нефтегазовой отрасли (поддержание пластового давления, водоснабжение);
- в теплоэнергетике (водоснабжение, циркуляция, питание котлов, отвод конденсата);
- в металлургии и горном деле;
- в пищевой промышленности;
- в системах пожаротушения.



Главными преимуществами систем являются:

- абсолютная совместимость с насосными агрегатами, выпускаемыми ОАО «Ливгидромаш» на заводах промышленной группы в г. Ливны «Ливгидромаш» и «Ливнынасос», что обеспечивает высокую надежность как систем управления, так и самих насосных агрегатов;
- обеспечение каскадного или каскадно-частотного регулирования до 3-х насосных агрегатов с общей установленной мощностью до 250 кВт;
- доступная автоматизация малых насосных агрегатов с мощностью от 1 кВт с помощью станций управления и защиты «Лоцман»

СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Станции управления выполняются в 4-х специализированных вариантах:

1. **«Лоцман»** – для наполнения емкостей, в т.ч. водонапорных башен любыми типами насосов;
2. **HMS Control G** – для дренажных центробежных электронасосных агрегатов;
3. **HMS Control ST** – для консольных, двухстороннего входа и многоступенчатых центробежных электронасосных агрегатов;
4. **HMS Control L3** – для скважинных и погружных центробежных электронасосных агрегатов.

Параметры сигналов	СуиЗ «Лоцман»	HMS Control G	HMS Control ST	HMS Control L3
Фото				
Входные сигналы				
Датчик давления (манометр)	+	-	+	+
Расходомер	-	-	+	-
Датчик верхнего уровня	+	-	-	+
Датчик нижнего уровня	-	+	-	+
Датчик сухого хода	+	-	+	+
Датчик температуры	-	-	+	+
Вход «Внешнее управление»	-	-	+	+
Вход «Внешняя ошибка»	-	-	+	+
Вход для теплового датчика двигателя	-	+	+	+
Выходные сигналы				
Реле «Авария»	+	-	+	+
Реле пользователя (настраивается)	-	-	+	+

Функции	СУиЗ «Лоцман»	HMS Control G	HMS Control ST	HMS Control L3
Фото				
Поддержание давления на выходе станции	+	+	+	+
Отключение при замыкании	+	+	+	+
Контроль чередования фаз	-	-	-	+
Контроль обрыва фазы	+	-	-	+
Частотный преобразователь	-	-	+	+
Плавный пуск двигателя	-	-	+	+
Визуализация работы на панели	+	+	+	+
Ручной режим управления	+	+	+	+
Дистанционное управление	-	-	+	+
Автоматический ввод резерва	-	-	+	-
Управление задвижками	-	-	+	-
Настройка управления	-	-	+	+
Согласование работы на сеть	-	-	+	+
Каскадное и каскадно-частотное регулирование	-	-	+	+



В каких случаях целесообразно применять интеллектуальную систему управления насосами?

Определим с помощью интернет-решателя ООО «Завод «Аквинта» (<http://iselect.pump-automation.com/>) примерную стоимость интеллектуальной системы управления для 6-ти различных вариантов систем водоснабжения и сравним их со стоимостью насосных агрегатов.

Параметр сравнения		Скважинный 1,1 кВт	Скважинный 5,5 кВт	Консольный 37 кВт	Консольный 55 кВт	Двухстороннего входа 200 кВт	Двухстороннего входа 500 кВт
Количество агрегатов, шт.		1	1	1	5	5	20
Стоимость агрегатов, тыс. руб.	Отечест.	22,0	40,0	60,0	580,0	1 800,0	25 000,0
	Импорт.	66,0	185,0	300,0	2 150,0	5 650,0	80 000,0
Стоимость системы управления, тыс. руб.	Электроавт.	8,0	8 000,00	20,0	-	-	-
	Интеллект.	300,0	400,00	500,0	2 200,0	4 800,0	30 000,0

Определим сферы применения насосных агрегатов:

- **Скважинный 1,1 кВт (1 шт.)** – скважинное водоснабжение частного дома, придорожной гостиницы, кафе и т.п.
- **Скважинный 5,5 кВт (1 шт.)** – скважинное водоснабжение небольшого населенного пункта, хозяйства.
- **Консольный 37 кВт (5 шт.)** – магистральное водоснабжение 400...500 квартир.
- **Консольный 55 кВт (5 шт.)** – магистральное водоснабжение 3800...4200 квартир.
- **Двухстороннего входа 200 кВт (5 шт.)** – насосная станция района города или среднего предприятия.
- **Двухстороннего входа 500 кВт (20 шт.)** – центральная насосная станция города или крупного предприятия.

Для малых насосных станций общей мощностью до 250 ... 300 кВт применять интеллектуальную систему экономически нецелесообразно ввиду ее высокой стоимости, особенно в сравнении со стоимостью отечественных насосных агрегатов (в 9 ... 20 раз дороже). Наиболее приемлемым решением может служить применение систем управления на станциях предприятий и городских центральных насосных, мощность которых составляет более 1 МВт (в 2...3 раза дороже).

ОТВЕТ:

Интеллектуальную систему управления насосными агрегатами целесообразно применять при общей мощности насосной станции от 300 кВт, преимущественно с насосными агрегатами импортного производства.



Окупится ли самая простая станция управления и защиты для наполнения водонапорной башни, если включать насос может любой житель?

Произведем технико-экономическое сравнение систем прямого включения насоса со станцией управления и защиты «Лоцман+». Определим стоимость 1 м³ воды в обоих случаях, оценим возможность внедрения через срок окупаемости $t_{ок}$. Пусть для наполнения водонапорной башни сельского поселения требуется скважинный насосный агрегат мощностью $N = 7,5$ кВт, номинальной подачей $Q = 16$ м³/мин при давлении $p = 1,1$ МПа ($H = 110$ м). Пусть включение насоса производится $n = 10$ раз в сутки; длительность включения $h = 8$ мин. (объем башни $W = 125$ м³). Пусть существует вероятность отсутствия воды из-за опустошения башни при ручном регулировании $\sigma = 4$ раза/мес. продолжительностью $t_{пусто} = 20$ мин, а вероятность ее переполнения отсутствует. Примем стоимость электроэнергии $e = 2,5$ руб./1 кВт·ч, зарплатный тариф оператора башни $z_ч = 32$ руб./ч, затраты времени оператора на наполнение башни $t_{нап} = 30$ мин/1 наполнение, убытки хозяйства из-за отсутствия воды $s_{пусто}^{c/x} = 3000$ руб./1 ч.

Затраты мощности ежемесячно	$N_{ру}^{мес} = N \cdot n \cdot \frac{h}{60} \cdot 30$ $N_{ру}^{мес} = 7,5 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 304 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$	$N_{L3}^{мес} = N \cdot n \cdot \frac{h}{60}$ $N_{L3}^{мес} = 7,5 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 304 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$
Подача воды ежемесячно	$Q_{ру}^{мес} = Q \cdot n \cdot \frac{h}{60} \cdot 30$ $Q_{ру}^{мес} = 16 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 640 \text{ (м}^3\text{)}$	$Q_{L3}^{мес} = Q \cdot n \cdot \frac{h}{60} \cdot 30$ $Q_{L3}^{мес} = 16 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 640 \text{ (м}^3\text{)}$
Мощность простоев ежемесячно*	$\Delta N_{пусто} = N \cdot \sigma \cdot \frac{t_{пусто}}{60}$ $\Delta N_{пусто} = 7,5 \cdot 4 \cdot \frac{20}{60} = 9,9 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$	0
Сбережение энергии от СУиЗ «Лоцман+»	$\Delta N = N_{ру}^{мес} - N_{L3}^{мес}$ $\Delta N = 152 - 152 = 0 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$	
Зарплата оператору ежемесячно	$z = z_ч \cdot 10 \cdot \frac{t_{нап}}{60} \cdot 30$ $z = 32 \cdot 10 \cdot \frac{30}{60} \cdot 30 = 4800,00 \text{ (руб.)}$	0**
Убытки хозяйства из-за простоев ежемесячно	$s_{пусто} = s_{пусто}^{c/x} \cdot \sigma \cdot \frac{t_{пусто}}{60} + \Delta N_{пусто} \cdot e$ $s_{пусто} = 3000 \cdot 4 \cdot \frac{20}{60} + 9,9 \cdot 2,5 = 4024,75 \text{ (руб.)}$	0
Затраты мощности ежемесячно	$N_{ру}^{мес} = N \cdot n \cdot \frac{h}{60} \cdot 30$ $N_{ру}^{мес} = 7,5 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 304 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$	$N_{L3}^{мес} = N \cdot n \cdot \frac{h}{60}$ $N_{L3}^{мес} = 7,5 \cdot 10 \cdot \frac{8}{60} \cdot 30 = 304 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$

Параметр	Ручное управление	«Лоцман+»
Стоимость электроэнергии ежемесячно	$S_{PY}^{mec} = N_{PY}^{mec} \cdot e$ $S_{PY}^{mec} = 304 \cdot 2,5 = 760$ (руб.)	$S_{L3}^{mec} = N_{L3}^{mec} \cdot e$ $S_{L3}^{mec} = 304 \cdot 2,5 = 760$ (руб.)
Эксплуатационные затраты ежемесячно	$S_{PY}^{\Sigma} = z + S_{писто} + S_{PY}^{mec}$ $S_{PY}^{\Sigma} = 4800 + 4024,75 + 760 =$ $= 9584,75$ (руб.)	$S_{L3}^{\Sigma} = S_{L3}^{mec}$ $S_{L3}^{\Sigma} = 760,00$ (руб.)
Стоимость 1 м³ воды	$s_{PY}^Q = \frac{S_{PY}^{\Sigma}}{Q_{PY}^{mec}}$ $s_{PY}^Q = \frac{9584,75}{640} = 14,97$ (руб.)	$s_{L3}^Q = \frac{S_{L3}^{\Sigma}}{Q_{L3}^{mec}}$ $s_{L3}^Q = \frac{760}{640} = 1,19$ (руб.)
Капитальные затраты модернизации (ориентировочно)	0	$s_{L3}^K = 12000,00$ (руб.)
График окупаемости		
Срок окупаемости	-	$t_{ок} = 1,4$ мес (по графику окупаемости)

* – рассчитана мощность, которую можно было бы получить, используя время простоев.

** – HMS Control L3 автоматически следит за уровнем воды в башне, скважине и температурой двигателя, позволяет контролировать работу станции и управлять ею дистанционно (например, с помощью сотового телефона или пульта), что исключает необходимость в операторе башни.

ОТВЕТ:

Стоимость 1 м³ воды при отсутствии автоматической станции возрастает на порядок до $s_{PY}^Q = 14,97$ (руб.) ввиду необходимости оплаты труда оператора. Ситуация усугубляется, если среди потребителей есть хозяйства, терпящие значительные убытки из-за перебоев водоснабжения. Автоматизация насосной станции снижает стоимость 1 м³ воды до $s_{L3}^Q = 1,19$ (руб.) и исключает перебои. Окупаемость насосного агрегата с системой управления HMS Control L3 ($N = 7,5$ кВт) в данном примере составляет $t_{ок} = 6,8$ мес.



ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. УПРАВЛЕНИЕ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ

А1. Станции управления и защиты «Лоцман»

Наименование	Мощность макс., кВт	Ток, А
СУиЗ "Лоцман+", ток до 20А, до 9кВт	9	2
СУиЗ "Лоцман+", ток до 40А, до 20кВт	20	4
СУиЗ "Лоцман+", ток до 80А, до 40кВт	40	8
СУиЗ "Лоцман+", ток до 100А, до 50кВт	50	10
СУиЗ "Лоцман+", ток до 160А, до 80кВт	80	16

А2. СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ «HMS CONTROL L3»

Наименование	Ток, А	Степень защиты
HMS Control L3-25-IP21 Y2	25	IP21
HMS Control L3-40-IP21 Y2	40	IP21
HMS Control L3-60-IP21 Y2	60	IP21
HMS Control L3-80-IP21 Y2	80	IP21
HMS Control L3-100-IP21 Y2	100	IP21
HMS Control L3-120-IP21 Y2	120	IP21
HMS Control L3-160-IP21 Y2	160	IP21
HMS Control L3-200-IP21 Y2	200	IP21
HMS Control L3-250-IP21 Y2	250	IP21
HMS Control L3-300-IP21 Y2	300	IP21
HMS Control L3-25-IP54 Y2	25	IP54
HMS Control L3-40-IP54 Y2	40	IP54
HMS Control L3-60-IP54 Y2	60	IP54
HMS Control L3-80-IP54 Y2	80	IP54
HMS Control L3-100-IP54 Y2	100	IP54
HMS Control L3-120-IP54 Y2	120	IP54
HMS Control L3-160-IP54 Y2	160	IP54
HMS Control L3-200-IP54 Y2	200	IP54
HMS Control L3-250-IP54 Y2	250	IP54
HMS Control L3-300-IP54 Y2	300	IP54
HMS Control L3-25-П-IP54 УХЛ4	25	IP54
HMS Control L3-40-П-IP54 УХЛ4	40	IP54
HMS Control L3-60-П-IP54 УХЛ4	60	IP54
HMS Control L3-80-П-IP54 УХЛ4	80	IP54
HMS Control L3-100-П-IP54 УХЛ4	100	IP54
HMS Control L3-120-П-IP54 УХЛ4	120	IP54
HMS Control L3-160-П-IP54 УХЛ4	160	IP54
HMS Control L3-200-П-IP54 УХЛ4	200	IP54
HMS Control L3-250-П-IP54 УХЛ4	250	IP54
HMS Control L3-300-П-IP54 УХЛ4	300	IP54

А3. Станции управления "HMS Control G"

Наименование	Мощность насоса, кВт	Ток, А	Степень защиты
HMS Control G - 2,5 IP31 УХЛ4	1,1	2,5	IP31
HMS Control G - 4 IP31 УХЛ4	2,2	4	IP31
HMS Control G - 8 IP31 УХЛ4	2	8	IP31
HMS Control G - 10 IP31 УХЛ4	3	10	IP31
HMS Control G - 13 IP31 УХЛ4	5,5	13	IP31

А4. Станции управления «HMS Control ST»

Наименование	Мощность станции, кВт	Мощность насоса, кВт	Ток, А
HMS Control ST-4-2-КЧ-УХЛ4	3,00	1,5	4
HMS Control ST-6-2-КЧ-УХЛ4	4,50	2,2	6
HMS Control ST-10-2-КЧ-УХЛ4	8,00	4	10
HMS Control ST-14-2-КЧ-УХЛ4	11,00	5,5	14
HMS Control ST-18-2-КЧ-УХЛ4	15,00	7,5	18
HMS Control ST-23-2-КЧ-УХЛ4	18,00	9	23
HMS Control ST-14-2-КЧП-УХЛ4	3,00	1,5	14
HMS Control ST-18-2-КЧП-УХЛ4	4,50	2,2	18
HMS Control ST-23-2-КЧП-УХЛ4	8,00	4	23
HMS Control ST-25-2-КЧП-УХЛ4	11,00	5,5	25
HMS Control ST-32-2-КЧП-УХЛ4	15,00	7,5	32
HMS Control ST-40-2-КЧП-УХЛ4	18,00	9	40
HMS Control ST-50-2-КЧП-УХЛ4	22,00	11	50
HMS Control ST-65-2-КЧП-УХЛ4	30,00	15	65
HMS Control ST-4-3-КЧ-УХЛ4	3,00	1,5	4
HMS Control ST-6-3-КЧ-УХЛ4	4,50	2,2	6
HMS Control ST-10-3-КЧ-УХЛ4	8,00	4	10
HMS Control ST-14-3-КЧ-УХЛ4	11,00	5,5	14
HMS Control ST-18-3-КЧ-УХЛ4	15,00	7,5	18
HMS Control ST-23-3-КЧ-УХЛ4	18,00	9	23
HMS Control ST-14-3-КЧП-УХЛ4	3,00	1,5	14
HMS Control ST-18-3-КЧП-УХЛ4	4,50	2,2	18
HMS Control ST-23-3-КЧП-УХЛ4	8,00	4	23
HMS Control ST-25-3-КЧП-УХЛ4	11,00	5,5	25
HMS Control ST-32-3-КЧП-УХЛ4	15,00	7,5	32
HMS Control ST-40-3-КЧП-УХЛ4	18,00	9	40
HMS Control ST-50-3-КЧП-УХЛ4	22,00	11	50
HMS Control ST-65-3-КЧП-УХЛ4	30,00	15	65

ИСТОЧНИКИ

1. Архитектура систем автоматизации 380В // ООО «Завод «Аквинта». – Набережные Челны: Аквинта, 2013. – 25 с.
2. Архитектура систем автоматизации 6000В // ООО «Завод «Аквинта». – Набережные Челны: Аквинта, 2013. – 25 с.
3. ОАО «Гидромашсервис» (ГМС-насосы) – официальный сайт. – <http://hms-pumps.ru/>.
4. Пути построения оптимальной системы снабжения предприятия сжатым воздухом // Челябинский компрессорный завод. – Челябинск: Вензель, 2011 – 16 с.
5. Системы автоматики для насосов водоснабжения // ОАО «Гидромашсервис» (Группа ГМС). – Ливны: Ливгидромаш, 2013. – 21 с.
6. Системы автоматики насосов для водоснабжения HMS Control L3, HMS Control ST // ОАО «Гидромашсервис» (Группа ГМС). – Ливны: Ливгидромаш, 2013. – 24 с.
7. Станции управления и защиты электродвигателей // ОАО «Гидромашсервис» (Группа ГМС). – Ливны: Ливгидромаш, 2013. – 2 с.
8. Станция управления и защиты HMS Control G: Руководство по эксплуатации // ОАО «Гидромашсервис» (Группа ГМС). – Ливны: Ливгидромаш, 2013. – 16 с.
9. Технология автоматизации насосов // ООО «Завод «Аквинта». – Набережные Челны: Аквинта, 2013. – 28 с.
10. Технология автоматизации насосов // ООО «Завод «Аквинта». – Набережные Челны: Аквинта, 2014. – 21 с.
11. Энергия сжатого воздуха. Каталог продукции // Челябинский компрессорный завод. – Челябинск: Вензель, 2013 – 106 с.
12. Энергосбережение в производстве сжатого воздуха // Челябинский компрессорный завод. – Челябинск: Вензель, 2011 – 12 с.