

**МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ К-250 И К-500****А.И. Куликов (Компания ТоксСофт)****В.В. Кучеренко, П.В. Гоголев (Завод Дальэнергомаш)**

*Рассмотрена система управления процессом производства сжатого воздуха, ориентированная на центробежные компрессоры К-250, К-500. Показано, что внедрение системы позволяет повысить эффективность использования компрессоров и снизить непроизводительные энергетические затраты до 10...15% на один агрегат.*

На крупных предприятиях с большим потреблением сжатого воздуха пневмосистема обеспечивается воздухом при помощи центробежных компрессоров. Это машины типов К-250, К-500 и их модификации производства завода Дальэнергомаш и Невского завода. Компрессоры К-250, К-500 имеют многолетний опыт эксплуатации и хорошо себя зарекомендовали. Это надежные, испытанные машины, в конструкции которых воплотилось немало выдающихся инженерных решений. В балансе электропотребления предприятия доля компрессорных станций достигает 25...30%. Учитывая это, а также то, что на отечественных предприятиях эксплуатируется несколько тысяч таких машин, снижение непроизводительных энергетических затрат при производстве сжатого воздуха дают впечатляющий экономический эффект.

Компания ТоксСофт и завод Дальэнергомаш предлагают систему управления процессом производства сжатого воздуха – АСУТП "Воздух", ориентированную на центробежные компрессоры К-250, К-500, внедрение которой позволяет повысить эффективность использования компрессоров и снизить непроизводительные энергетические затраты по сравнению с текущим положением дел. Это дает возможность получить экономии электроэнергии 10...15% на один агрегат. Внедрение АСУТП "Воздух" включает не только установку современной автоматики, но и модернизацию механических узлов компрессоров.

Внедрение АСУТП "Воздух" осуществляется по принципу "под ключ" и включает следующий комплекс услуг:

- обслуживание компрессорной станции, разработку технико-коммерческого предложения с перечнем предлагаемых мероприятий, стоимостью и указанием возможного экономического эффекта;
- разработку проекта привязки системы;
- поставку оборудования;
- шеф-монтаж оборудования;
- пусконаладку оборудования и сдачу системы в эксплуатацию.

**Слагаемые экономии**

Снижение энергетических затрат при внедрении АСУТП "Воздух" достигается за счет:

- уменьшения нагрузки на компрессор в режиме холостого хода за счет перевода его в глубокое дросселирование. Экономия составляет около 60% на один компрессор (для режима холостого хода);

- расширения рабочей зоны компрессора за счет снятия ограничения на закрытие дроссельной заслонки в рабочем режиме ( $<22^\circ$ ) и снижения непроизводительных выбросов воздуха в атмосферу через помпажный клапан. Экономия составляет ориентировочно 10% на один компрессор;

- увеличения суммарного КПД станции за счет внедрения группового регулирования давления и производительности. Экономия составляет около 6% на один компрессор;

- прочих составляющих, к которым относятся: снижение потребления охлаждающей воды, выявление резервов за счет анализа протекания процесса, уменьшение потерь от простоев за счет развитых средств диагностики и т.п. Экономия составляет около 2% на один компрессор.

**Режим глубокого дросселирования**

Режимом глубокого дросселирования называется такое состояние турбокомпрессора, при котором движка нагнетания закрыта, помпажный клапан полностью открыт, дроссельная заслонка закрыта. Забор воздуха производится через зазоры дроссельной заслонки. В этом состоянии, когда количество воздуха, перекачиваемого компрессором, минимально, а помпаж еще не наступает, нагрузка на компрессор существенно снижается по сравнению со штатным режимом холостого хода, рекомендуемым заводом-изготовителем. Как известно, при штатном холостом ходе дроссельная заслонка должна быть закрыта на  $15^\circ$ , движка нагнетания и помпажный клапан также закрыты. В этом состоянии компрессор К-250 потребляет 800 кВт (для компрессора К-500 эта величина составляет 1600 кВт). Перевод компрессора в глубокое дросселирование дает снижение потребляемой мощности на холостом ходу примерно на 60% (для компрессоров К-250, К-500 энергопотребление в глубоком дросселировании составляет 300 и 650 кВт соответственно).

Глубокое дросселирование также существенно облегчает пуск компрессора. Режим пуска является наиболее тяжелым для компрессора с точки зрения нагрузок на элементы его конструкции. Несмотря на малую продолжительность (около 30 с), пуск оказывает существенное влияние на ресурс агрегата. Связано это, прежде всего, с высокими пусковыми моментами, которые в два раза превышают номинальные, с прохождением компрессора через зону резонансных механических колебаний и дополнительными нагрузками конструкций при прогреве агрегата. Сниже-

ние нагрузки на рабочие колеса компрессора, благодаря глубокому дросселированию, облегчает режим пуска и уменьшает потери ресурса на каждый цикл пуск/останов с 50 до 15 часов. Внедрение глубокого дросселирования позволяет осуществлять ежедневные пуски/остановы компрессора без потерь ресурса.

В режиме глубокого дросселирования воздухоохладители не требуют охлаждения. Подвод воды к воздухоохладителям может быть выключен на то время, пока компрессор находится в глубоком дросселировании, что также дает некоторую экономию.

Режим глубокого дросселирования обеспечивается комплексом мероприятий, которые подразделяются на две группы: модернизация механических узлов и внедрение новых средств автоматизации.

Чтобы добиться минимума энергопотребления при полностью закрытой дроссельной заслонке, необходимо произвести некоторую модернизацию механических узлов компрессора: минимизировать зазоры дроссельной заслонки, усилить всасывающий патрубок, провести ревизию помпажного клапана. Необходимо также провести общее техническое обследование состояния компрессора на предмет выявления возможных источников потерь энергии за счет изношенности механических деталей. В качестве примера можно привести трубные пучки воздухоохладителей или уплотнения, изношенность которых существенно снижает технические характеристики компрессора, а потери энергии могут существенно превысить эффект, достигнутый от глубокого дросселирования.

Со стороны средств автоматизации для обеспечения глубокого дросселирования необходимы: алгоритм ввода/вывода компрессора в/из режим, надежная помпажная защита, срабатывающая при появлении характерных колебаний нагрузки на двигатель привода, а также быстродействующие электроприводы дроссельной заслонки и помпажного клапана.

Все перечисленные мероприятия осуществляются при внедрении системы "Воздух".

#### Расширение диапазона регулирования

Согласно инструкции завода-изготовителя, дроссельная заслонка компрессора в рабочем режиме не может быть закрыта более чем на 22°. На некоторых предприятиях угол закрытия дроссельной заслонки ограничивают 30° и более. Такое ограничение диапа-

зона регулирования в рабочем режиме связано с тем, что точно неизвестно, где находится в данный момент зона помпажа для данного компрессора, а помпажная защита, как правило, работает неудовлетворительно. Чтобы обезопасить машину от попадания в помпаж, особенно при быстро меняющихся колебаниях потребления сжатого воздуха, завод-изготовитель и эксплуатирующий персонал устанавливают ограничение, при котором возникновение помпажа на компрессоре невозможно ни при каких условиях. Если потребление сжатого воздуха снижается за границу регулирования производительности, избыток воздуха стравливается в атмосферу через помпажный клапан. Сброс лишнего воздуха в атмосферу — это непроизводительные затраты электроэнергии.

Расширив диапазон регулирования производительности компрессора, можно исключить сброс воздуха в атмосферу при малых расходах и уменьшить энергетические потери. Область регулирования компрессора на малых расходах ограничивается границей зоны помпажа. Нельзя прикрывать дроссельную заслонку более, задавая расход воздуха через компрессор менее (при заданном давлении нагнетания), чем критическое значение, при котором возникает помпаж. Однако положение границы зоны помпажа может существенно меняться в зависимости от состояния атмосферного воздуха (давления, температуры, влажности) и технического состояния компрессора (степень сжатия). Зная текущее положение зоны помпажа и рабочей точки компрессора, можно регулировать производительность компрессора таким образом, чтобы при движении рабочей точки в зону малых расходов максимально приблизить рабочую точку к границе зоны помпажа, не открывая помпажный клапан. Запас по производительности относительно границы зоны помпажа определяет новую нижнюю границу регулирования и выбирается в зависимости от скорости движения рабочей точки в сторону уменьшения расхода. Критический угол закрытия дроссельной заслонки при таком регулировании может быть значительно <22°.

На рис. 1 приведена типовая газодинамическая характеристика компрессора К-250. Как правило, компрессоры на компрессорных станциях работают в режиме поддержания постоянного давления при переменном расходе воздуха (в качестве примера взято давление 6 кгс/см<sup>2</sup>). Движение рабочей точки компрессора при прежнем способе регулирования ограничено отрезком ВС. Участок АВ — это дополнительная область движения рабочей точки, которая расширяет диапазон регулирования за счет точного определения положения границы зоны помпажа и поддержания минимального запаса производительности. Как видно из примера, дроссельная заслонка в этом случае может быть прикрыта до угла, близкого к 15°.

На рис. 2 представлена зависимость потребления электроэнергии в зависимости от расхода воздуха через компрессор. Если при прежнем способе регули-

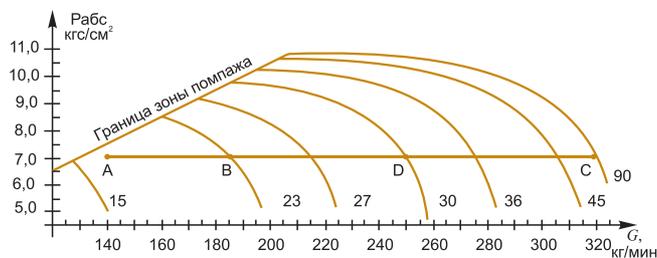


Рис. 1. Типовая газодинамическая характеристика компрессора К-250

рования минимальное энергопотребление составляло примерно 950 кВт, то при новом способе регулирования минимальное потребление составляет примерно 800 кВт. В среднем это дает дополнительную экономию электроэнергии на 10% от номинальной потребляемой мощности.

Если на предприятии установлено ограничение на прикрытие дроссельной заслонки не менее чем 30° (участок DC), рабочая зона при новом способе управления расширяется более чем в два раза, и примерно в столько же раз увеличивается экономия.

Для того, чтобы обеспечить расширение рабочей зоны компрессора, необходимо:

- измерять параметры атмосферного воздуха такие, как давление, температура, влажность;
- измерять расход воздуха при заборе и давление воздуха в тракте нагнетания компрессора и определять, таким образом, положение рабочей точки компрессора;
- периодически вычислять положение границы зоны помпажа, скорость и направление движения рабочей точки компрессора;
- регулировать производительность компрессора для поддержания заданного давления (или расхода) в пределах расширенной рабочей зоны путем изменения положения дроссельной заслонки; в случае выхода рабочей точки за нижнюю границу рабочей зоны регулирование производить за счет изменения положения помпажного клапана;
- иметь надежную помпажную защиту, срабатывающую при появлении характерных колебаний нагрузки на двигатель главного привода; помпажная защита работает независимо от основного режима регулирования;
- иметь быстродействующие электроприводы дроссельной заслонки и помпажного клапана.

Автоматика системы "Воздух" обеспечивает все перечисленные функции. Дополнительные датчики и электроприводы устанавливаются при внедрении системы.

#### Групповое регулирование

Существует два метода группового регулирования производительности компрессоров, работающих на один коллектор. Первый метод заключается в ступенчатом регулировании производительности, когда один компрессор находится в состоянии регулирования, а остальные либо полностью нагружены, либо полностью разгружены и отключены от магистрали. При втором методе все компрессоры находятся в состоянии регулирования.

Второй метод предпочтителен с точки зрения возможностей экономии энергии. Исследованиями доказано, что в этом случае суммарный КПД группы компрессоров выше, а значит затраты электроэнергии при том же количестве производимого сжатого воздуха — ниже. Групповое регулирование производительности позволяет достичь экономии 3...6% на один компрессор.

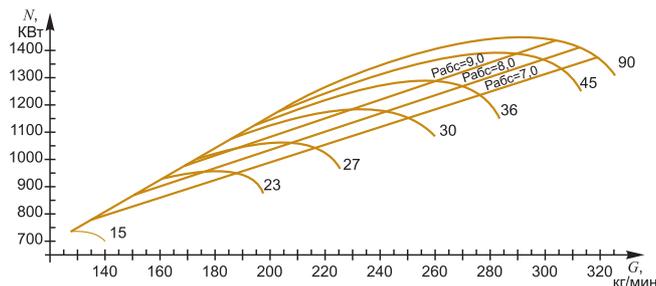


Рис. 2. Зависимость потребляемой мощности от нагрузки для компрессора K-250

Для того, чтобы было возможно групповое управление производительности, необходимо измерять расход воздуха в коллекторе, на который работает группа компрессоров, и реализовать действие алгоритма группового управления. Алгоритм, исходя из измеренного текущего потребления сжатого воздуха, рассчитывает уставки производительности для каждого компрессора в группе, стремясь добиться максимального группового КПД. Алгоритм реализуется автоматикой системы "Воздух", а датчик расхода воздуха в коллекторе устанавливается при ее внедрении или используется существующий.

#### Прочие составляющие экономии энергии

Снижение нагрузки на компрессор при расширении его рабочей зоны, а особенно в режиме глубокого дросселирования, приводит к снижению расхода охлаждающей воды через воздухоохладители. Это, в свою очередь, приводит к снижению затрат электроэнергии на привод циркуляционных насосов.

Система "Воздух" ведет архив технологических параметров. Технологи имеют в своем распоряжении инструменты для всестороннего анализа накопленных данных. Исследуя графики изменения параметров в течение длительного времени, технологи имеют возможность делать выводы о техническом состоянии компрессоров и проводить своевременные мероприятия по восстановлению их технических характеристик.

Экономия электроэнергии от прочих составляющих оценивается на уровне 2%.

#### Типовой расчет экономии

Примерный расчет экономии от внедрения АСУТП "Воздух" приведен для двух типовых случаев. В первом случае рассматривается предприятие с непрерывным производственным циклом, во втором — машиностроительное предприятие.

#### Предприятие с непрерывным циклом

В качестве примера взят один из алюминиевых заводов по производству первичного алюминия. Для предприятия характерны циклические колебания потребления сжатого воздуха в течение суток, при этом минимальное потребление составляет 25000 м³/ч, а максимальное — 60000 м³/ч (рис. 3). Компрессорная станция предприятия оборудована пятью компрессорами K-250 производства завода Дальэнергомаш, при

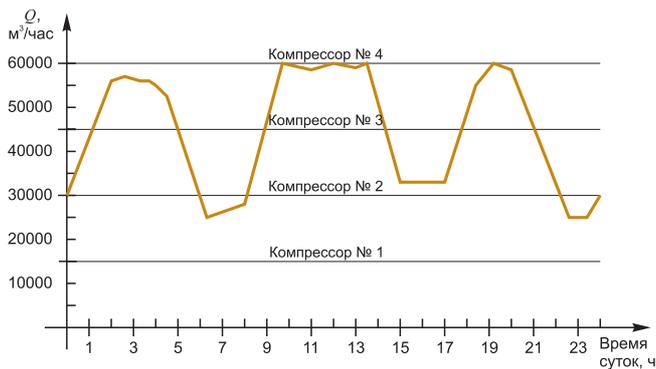


Рис. 3. График среднесуточного потребления сжатого воздуха для предприятия с непрерывным циклом

этом четыре компрессора постоянно находятся в работе, а один – в резерве. Давление в заводской пневмосети поддерживается на уровне 6 кг/см².

На рис. 3 представлен график среднесуточного потребления сжатого воздуха для исследуемого предприятия. Рассмотрим его подробнее.

На графике можно выделить три пиковых участка максимальной нагрузки на компрессорную станцию в периоды времени, ч: 1.00...5.00, 9.00... 14.30 и 17.30...21.00. В эти часы для производства необходимого объема сжатого воздуха требуются ресурсы всех четырех компрессоров, находящихся в работе. Экономия энергии в эти периоды возможна за счет расширения рабочей зоны компрессоров, группового управления и прочих составляющих.

В периоды времени с 5.00 до 9.00, с 14.30 до 17.30 и с 21.00 до 1.00 нагрузка на компрессорную станцию снижается настолько, что сначала один, а затем два компрессора становятся неустойчивыми и могут быть выведены в глубокое дросселирование (в нашем случае это компрессоры №3 и №4). Экономия энергии в этом случае возможна за счет режима глубокого дросселирования и прочих составляющих.

Ориентировочный расчет экономии энергии, полученный в результате анализа графика на рис. 3, представлен в таблице 1. Из таблицы следует, что суммарная экономия электроэнергии от внедрения АСУТП "Воздух" для нашего примера составит 9 610 450 кВт/ч в год.

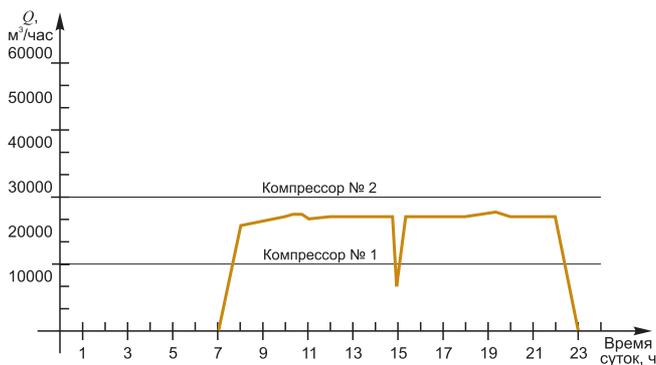


Рис. 4. График среднесуточного потребления сжатого воздуха машиностроительного предприятия

Таблица 1

№ компрессора	Режим работы	Экономия, кВт	Время действия в сутки, ч	Экономия в сутки, кВт /ч	Суммарная экономия в год, кВт /ч
1	Регулирование (включая групповое)	240	24	5 760	2 102 400
2			20	4 800	1 752 200
3			4	2 120	773 800
4	Регулирование (включая групповое)	240	13	3 120	1 138 800
4	Глубокое дросселирование	530	9	4 770	1 741 050
Итого:					9 610 450

**Машиностроительное предприятие**

Машиностроительное предприятие, как правило, работает в две смены с двумя выходными днями в течение недели. Сжатый воздух используется для привода пневмоинструмента и различных исполнительных механизмов, в окрасочном, прессовом, штамповочном, кузнечном и других производствах. Потребление сжатого воздуха в течение смены не претерпевает резких изменений и пребывает примерно на одном уровне. В нерабочее время сжатый воздух не потребляется, компрессоры могут быть остановлены.

В качестве примера рассмотрим машиностроительное предприятие, в составе компрессорной станции которого имеются три компрессора К-250 производства завода Дальэнергомаш. Постоянно работают два компрессора, один компрессор находится в резерве. Давление в пневмосети поддерживается на уровне 6 кг/см². График среднесуточного потребления сжатого воздуха представлен на рис. 4.

Как видно из графика, основная экономия может быть получена в нерабочее время (ночные часы, а также выходные и праздничные дни). При существо-

Таблица 2

№ компрессора	Режим работы	Экономия, кВт	Время действия в сутки, ч	Экономия в сутки, кВт /ч	Суммарная экономия в год, кВт /ч
1	Регулирование (включая групповое)	240	16	3 840	1 401 600
1	Остановка в нерабочее время (ночные часы, выходные и праздничные дни, в пересчете на сутки)	800	14,58	11 664	4 257 360
2	Регулирование (включая групповое)	240	16	3 840	1 401 600
2	Остановка в нерабочее время (ночные часы, выходные и праздничные дни, в пересчете на сутки)	800	14,58	11 664	4 257 360
Итого:					11 317 920

ющем положении дел компрессоры в это время не выключаются, а переводятся в режим холостого хода. Это связано с тем, что наиболее тяжелым с точки зрения нагрузок на элементы конструкции компрессора является режим пуска, который, несмотря на малую продолжительность (30 с), оказывает существенное влияние на ресурс агрегата. Производитель компрессора допускает максимум еженедельные пуски/остановы компрессора. Пуск/останов компрессора в режиме глубокого дросселирования существенно разгружают компрессор по сравнению со штатным ре-

жимом. Затраты ресурса на цикл пуск/останов в глубоком дросселировании снижаются настолько, что становится возможным осуществлять ежедневные пуски/остановы компрессора.

Ориентировочный расчет экономии энергии на основании анализа графика на рис. 4 приведен в таблице 2. Как видно из таблицы, основную долю экономии составляет то, что компрессоры остановлены в нерабочее время и не потребляют энергию. Суммарная годовая экономия электроэнергии от внедрения АСУТП "Воздух" для данного примера составляет 11 317 920 кВт/ч.

*Куликов Андрей Иванович – директор по развитию компании ТоксСофт,*

*Кучеренко Владимир Вячеславович – главный конструктор,*

*Тоголев Павел Владимирович – заместитель главного конструктора завода "Дальэнергомаш".*

*Контактный телефон (095) 917-44-30. Http://www.toxsoft.ru*

**НОВОСТИ**

**Универсальный геофизический регистратор**

Универсальный геофизический регистратор – система, предназначенная для измерения, регистрации и первичной обработки данных при проведении геофизических исследований скважин (ГИС) (рис. 1).

Регистратор построен на базе платформы PXI, преимуществами которой являются невысокая стоимость, простота использования, надежность и гибкость открытой компьютерной технологии. Стандарт PXI, основывающийся на спецификации CompactPCI, совмещает высокоскоростную шину PCI с интегрированными линиями синхронизации и триггерами, что позволяет увеличить производительность более чем в 10 раз по сравнению с системами предыдущих поколений. PXI обеспечивает работу системы в режиме жесткого РВ с использованием встраиваемых контроллеров сер. RT и ПО LabVIEW Real-Time.

Регистратор включает контроллер и набор многофункциональных плат.

NI PXI-6071E – плата ввода/вывода, многофункциональный АЦП/ЦАП (рис. 2): аналоговые входы – 64 SE/32 DI; входное разрешение – 12 бит; частота опроса – 1,25 МГц; диапазон входных сигналов – ±(0,5...10)В; цифровые входы/выходы – 8 ед.

NI PXI-4472 – модуль для измерения сигналов при акустических исследованиях (рис. 3): одновременно опрашиваемые входы – 8 ед.; 24-битное разрешение; динамический диапазон – 110 dB; максимальная частота опроса – 102,4 кГц; полоса пропускания – 45 кГц; цифровые входы/выходы – 8 ед.

NI PXI-7831R – перепрограммируемая плата ввода/вывода (рис. 4): по 8 независимых аналоговых входов/выходов ±10 В; 96 синхронизированных цифровых линий, которые могут быть сконфигурированы как вход, выход, счетчик или произвольной конфигурации; программирование любых интерфейсов обмена данных.

Система предназначена для работы со всеми имеющимися геофизическими приборами, что позволяет проводить полный комплекс ГИС. Данный подход обеспечивает сокращение сроков и стоимости создания систем и уменьшение затрат на последующую модернизацию.

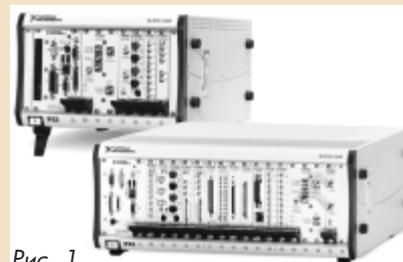


Рис. 1



Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

*Контактный телефон ООО "ИнСис Лмд." (095) 921-09-02, E-mail: alexey@insysltd.ru; Http:// www.insysltd.ru*  
*Контактный телефон National Instruments Russia (095) 783-68-51; E-mail: ni.russia@ni.com; Http://www.ni.com*

**National Instruments и Bosch Rexroth выбирают платформы Wind River**

Компания Wind River, производитель средств разработки ПО встраиваемых 32-х разрядных микропроцессорных систем (www.embedded32.ru), объявила о том, что два крупнейших производителя оборудования для систем промышленной автоматизации, National Instruments и Bosch Rexroth, выбрали Платформы Wind River в качестве базового ПО нового поколения приборов и устройств.

Платформы Wind River - это интегрированные пакеты ПО на базе встраиваемой

ОС PV VxWorks (www.vxworks.ru), ориентированные на определенные области применения: системы промышленной автоматизации, бортовые авиационные системы управления, телекоммуникационное оборудование, автомобильная электроника и бытовая электронная техника.

National Instruments выбрала Платформу для систем промышленной автоматизации PLATFORM for Industrial Automation (www.vxworks.ru/products/

platforms), а Bosch Rexroth – платформу общего назначения VxWorks Developer's Toolkit. Аутсорсинг программных компонентов в виде интегрированного пакета от одного поставщика позволит значительно сократить время разработок, а специальная "корпоративная" модель лицензирования Платформ – снизить затраты на разработку различных проектов за счет унификации инструментальных средств во всех подразделениях предприятия.

*Контактный телефон/факс компании AVD Systems (095) 148-96-77. E-mail: avdsys@aha.ru*