



**Я. А. Евдокимов,**  
научный сотрудник  
НПК «ЛенПромАвтоматика»

**Е. П. Лавров,**  
начальник проектного отдела  
НПК «ЛенПромАвтоматика»

## ЭВОЛЮЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ (АГНКС). ЧАСТЬ 1: ПРИНЦИПЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАПРАВКИ

Эта публикация – начало цикла статей газомоторной тематики, подготовленных сотрудниками НПК «ЛенПром-Автоматика» для ознакомления широкого круга читателей с особенностями природного газа как автомобильного топлива. Надеемся, наш труд будет интересен и полезен многим. В первой части цикла дается экскурс в историю использования газомоторного топлива на автотранспорте. Проводится сравнение особенностей АГНКС прошлых лет и современных. Даются рекомендации по оптимизации заправки КПП.

**Ключевые слова:** автомобильная газонаполнительная компрессорная станция, компримированный природный газ, проектирование и строительство АГНКС.

### Природный газ как моторное топливо

История умалчивает, кто и когда впервые применил компримированный природный газ (КПП) на автомобилях. Видимо, это произошло почти одновременно в разных странах в 1930-х годах (рис. 1, 2).

В Днепропетровской области в 1936 г. обнаружили крупное месторождение газа. К ноябрю 1937 г. построили

первую в СССР газонаполнительную станцию (рис. 3), тогда же начали выпуск газобаллонных автомобилей.

Планам газификации помешала война, только во Франции и Италии довольно широко применялся сжатый газ (рис. 4).

Вновь интерес к газомоторному топливу возник в 1980-х гг. Сказался топливный кризис, поднявший



Рис. 1. Автомобиль, работающий на газе (продукте разложения соломы), хранящемся под низким давлением. Канада, 1918 г. (из коллекции Western Development Museum, wdm.ca)



Рис. 2. Заправка автомобилей КПП в 1930-х годах в Аргентине (с сайта ngvjournal.com)

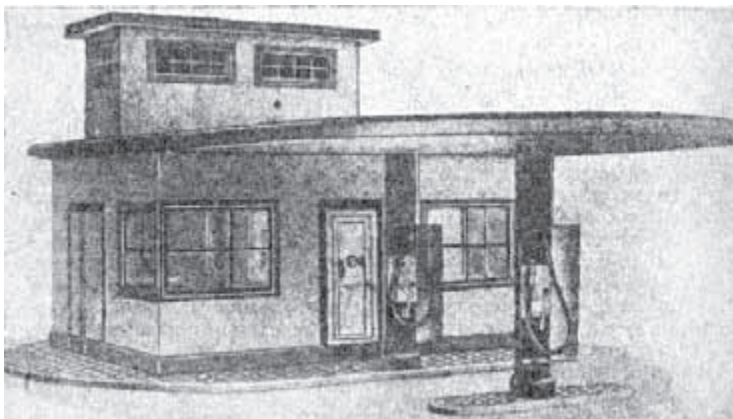


Рис. 3. АГНКС 1930-х годов в СССР (из книги «Газобаллонные автомобили», 1941 г.)



Рис. 4. Легковой Citroen с газовой аппаратурой. Снимок времен Второй мировой войны (с сайта lowtechmagazine.com)



цены на нефть. Тогда же была создана Международная ассоциация производителей газобаллонных автомобилей (IANGV), разработаны стандарты на автомобильную метановую аппаратуру. А в СССР в 1983 г. была принята программа строительства автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и газификации транспорта (первая такая программа была принята еще постановлением Совнаркома в 1936 г.).

В 1990–2000 гг. основаны газомоторные ассоциации: Японская в 1991, Европейская в 1994, Азиатско-Тихоокеанская в 2002 и т.д. В России некоммерческое партнерство «Национальная газомоторная ассоциация» действует с 1999 г. Эти организации призваны содействовать формированию нормативной базы и созданию инфраструктуры для широкого применения газа на транспорте.

Почему же газ с его давней историей мало распространен на транспорте? Тому есть несколько причин.

1. Метан сложно хранить на автомобиле в нужном количестве. По количеству энергии кубометр газа приблизительно соответствует литру бензина. Хранить 40–50 м<sup>3</sup> газа на автомобиле, разумеется, негде. В сжатом виде газ занимает намного меньше места, столитровый баллон вмещает примерно 25 м<sup>3</sup>.
2. Скорость заправки ограничена особенностями течения газа: она ниже, чем у жидкого топлива.
3. На АГНКС поступает газ с низким давлением, необходимы компрессоры. В газе есть влага и другие примеси, недопустимые для двигателя, поэтому нужны осушка и очистка. Все это делает АГНКС сложным объектом.
4. Высокое давление и горючий газ создают повышенную опасность. АГНКС – объекты технического регулирования и надзора. Зарубежная нормативная база отличается от российской, поэтому в России сложно использовать иностранную продукцию.
5. Клиент видит АГНКС как заправочную станцию, только с другим топливом. Обычно минимальная денежная единица составляет 1% от основной (например, 1 руб. = 100 коп.), и погрешность отпуска и учета топлива должна быть не больше 1%. Учет по давлению в баллоне при помощи таблиц был недостаточно точен. Только к 1990-м годам с внедрением кориолисовых расходомеров газозаправочные колонки по точности и скорости заправки приблизились к обычным ТРК.

Советские АГНКС 1980-х годов предназначались в основном для автохозяйств. Применялся учет заправленного газа по давлению, общая погрешность распределялась по всем автомобилям предприятия. Скорость заправки была малозначительна, так как можно было спланировать работу транспорта и загрузку ближайшей АГНКС с учетом низкой

скорости заправки. Технических средств для улучшения характеристик заправки еще не было, и советские АГНКС находились примерно на общемировом уровне. Затем развитие России практически остановилось в 1990-е и ранние 2000-е годы, в то время как мировая практика не стояла на месте и шла по пути повышения удобства для частных потребителей. Судя по материалам зарубежных фирм, а также и по некоторым нормативно-техническим документам, качественный скачок в технологиях заправки газом был сделан около 1995 г. Сейчас России, к сожалению, приходится догонять лидеров.

**Оптимизация заправки КПП**

**Особенности заправки КПП**

Основное отличие газа от жидкого моторного топлива (ЖМТ) в том, что объем ЖМТ можно считать постоянным, а газ сильно изменяет свой объем в зависимости от температуры.

Автомобильные баллоны со стандартным давлением 20 МПа при температуре 15 °С\* содержат разную массу газа при разной температуре окружающей среды. С одинаковым давлением при температуре 30 °С баллоны будут вмещать на 15% меньше газа, чем при –15 °С. Газ при заправке нагревается, это повышает давление и уменьшает массу заправки еще на 10%. Запас хода транспорта между заправками снижается и становится нестабильным.

Также надо отметить, что время заправки автомобиля газом больше, чем при заправке ЖМТ, что создает дополнительное препятствие к переводу автотранспорта на газ.

**Традиционный способ заправки**

Традиционно заправка выполняется до заданного давления в баллоне.

При заправке измеряется давление газа, по достижении заданного значения блок управления останавливает заправку. Измерить давление прямо в баллоне невозможно, измеряется давление в заправочном шланге. Оно больше давления в баллоне, перепад пропорционален расходу газа при заправке (рис. 5).

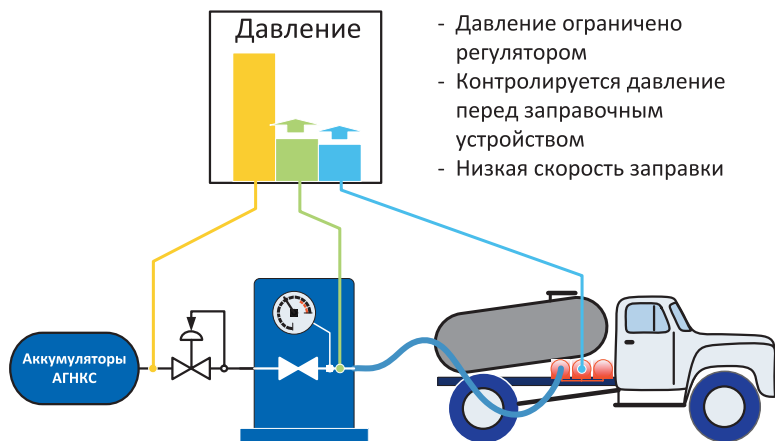


Рис. 5. Типовая схема заправки

\* В соответствии с ГОСТ Р ИСО 11439-2010 «Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива. Технические условия».

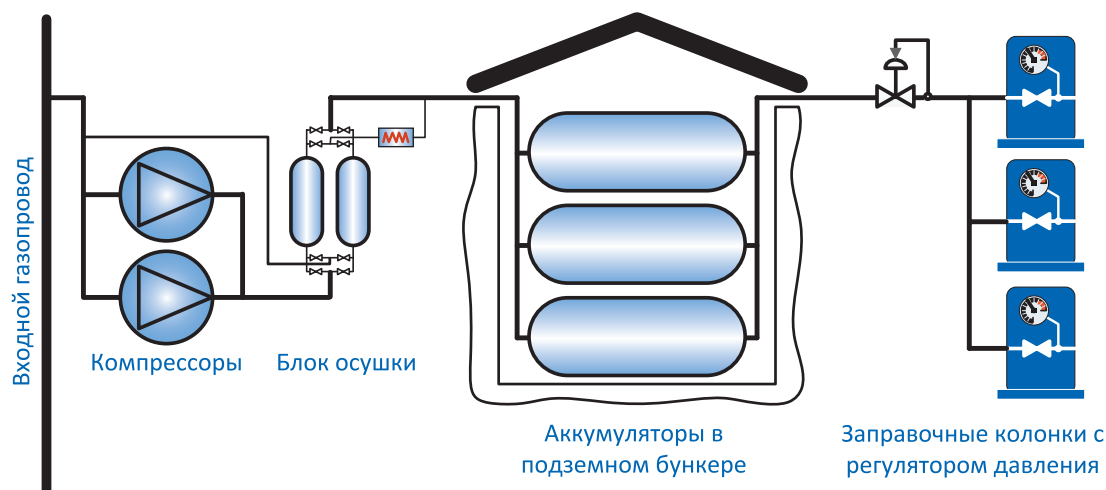


Рис. 6. Структура АГНКС 1980-х годов

Чтобы обеспечить контроль давления, его ограничение и заправку до заданной величины, перед колонкой устанавливается регулятор, уменьшающий давление и перепад на заправочном устройстве. При этом снижается расход газа, особенно в конце заправки, что заметно увеличивает ее длительность. Именно по такой схеме работают колонки на АГНКС, построенные в 1980-х годах (рис. 6).

Аккумуляторы газа имеют большой объем и расположены в подземном бетонном бункере. Кроме безопасности, данное решение обеспечивает примерно постоянную температуру газа в течение года.

Коммерческий расчет производится с помощью таблиц давления в баллоне, объема баллона и температуры воздуха, то есть без прямого измерения массы проданного газа. Данная схема неплохо сбалансирована с точки зрения безопасности и наполняемости баллонов.

Газ хранится под землей в больших емкостях, сезонные изменения мало влияют на его температуру. В любое время года температура газа в баллонах автомобиля в конце заправки примерно одинакова. Обеспечивается не оптимальная, но довольно стабильная наполняемость баллонов в разное время года.

Однако у этой схемы есть несколько важных недостатков:

- регулятор давления ограничивает скорость заправки, он сложен в настройке, дорог и недостаточно надежен;
  - происходит недозаправка баллонов из-за их нагрева;
  - неточно оценивается масса проданного газа;
  - требуется большая площадь для аккумуляторов, обязателен контроль загазованности в закрытом подземном бункере; большой объем и подземное расположение аккумуляторов усложняют их испытания, проводимые раз в 5 лет.
- Как же добиться максимально быстрой, полной и безопасной заправки

газа в баллоны автомобиля? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим подробнее процесс заправки газа из аккумуляторов АГНКС в баллоны автотранспорта.

### Процесс заправки баллона

Газ в баллоне автомобиля нагревается при заправке от резервуара со сжатым газом (аккумулятор). На АГНКС это хорошо известное явление приводит к недозаправке.

Возникает вопрос: откуда берется нагрев баллона, ведь газ охлаждается при расширении, если отсутствует теплообмен? Зачастую на газозаправочных колонках именно из-за этого обмерзают заправочные устройства и клапаны. Почему же газ в баллоне нагревается выше начальной температуры?

При движении через трубопроводы и заправочное устройство газ набирает скорость, расширяется, что вызывает его охлаждение. Затем поток газа тормозится в заправляемом баллоне, заново сжимается и нагревается. Важно, что конечная температура выше, чем температура в аккумуляторах газа, так как избыточная энергия газа переходит в теплоту (рис. 7).

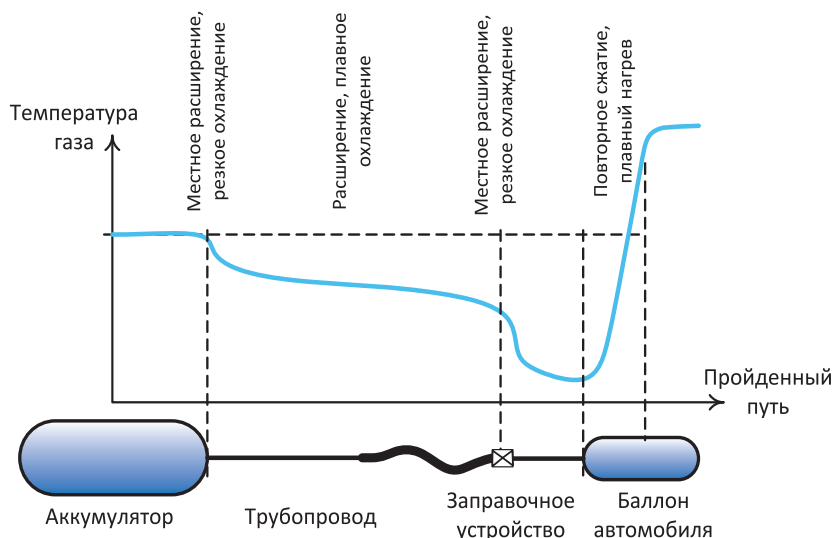


Рис. 7. Изменение температуры газа при его движении из аккумулятора в баллон



Итак, нагрев обусловлен следующими причинами:

- давление в аккумуляторах выше, чем давление в баллоне, особенно в начале заправки;
- газ быстро проходит путь до баллона, теплообмена с окружающей средой практически нет, он происходит уже в баллоне, из-за этого композитный баллон, хуже проводящий тепло, нагревается сильнее, чем металлический.

Нагрев приводит к повышению давления в баллоне и остановке заправки. В баллон попадает меньше газа, чем он мог бы вместить при таком давлении и температуре окружающей среды.

Избежать нагрева можно, если сделать движение газа очень медленным, уменьшив перепад давлений на всем пути движения. Но понятно, что на практике никого не устроит очень медленная заправка.

**Современная технология заправки**

Современные АГНКС имеют важные отличия от АГНКС 1980-х годов:

- заправка по массе, отказ от регуляторов давления перед газозаправочной колонкой;
- наземное хранение газа;
- разделение аккумуляторов на секции с различным давлением газа.

Эти отличия оптимизируют стоимость заправочных станций, повышают эффективность и безопасность заправки. Рассмотрим их подробнее.

**Заправка по массе без регулятора давления**

Уменьшить время заправки можно, если не ограничивать расход газа регулятором, а дать ему возможность двигаться с максимально возможной скоростью.

Современные расходомеры позволяют точно измерять массу газа, прошедшего через трубу, а контроллеры колонок – автоматически определять объем баллона (рис. 8). При заправке блок управления ГЗК оценивает объем баллона и рассчитывает такую массу газа, которая создаст заданное давление с учетом сжатия и точно рассчитанным запасом на нагрев баллона. Заправка заканчивается по достижении заданной массы, как на ТРК для жидкого топлива.

Отсутствие регулятора давления заметно увеличивает скорость наполнения баллонов, а расчет

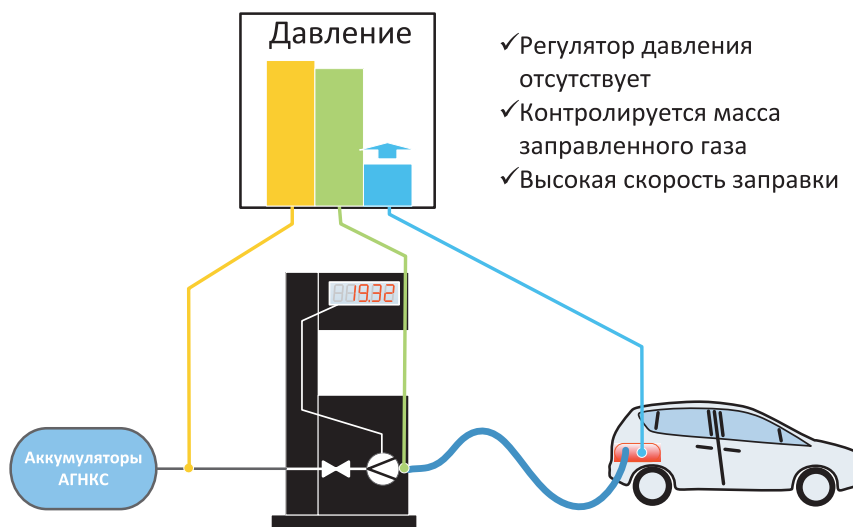


Рис. 8. Современная схема заправки

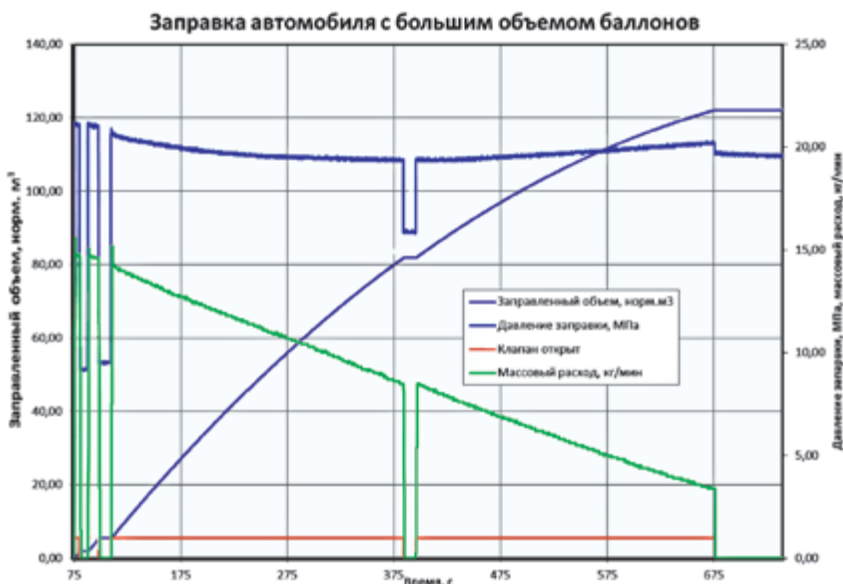


Рис. 9. График хода заправки

массы и давления с учетом нагрева позволяет повысить наполняемость баллона. Также повышается стабильность заправки при разной температуре воздуха, так как дозируется именно масса, а не объем и давление газа.

Клиент АГНКС может быть уверен, что в любое время года он получит одинаковую массу газа, а значит, одинаковый пробег транспорта между заправками, что важно при коммерческом использовании автомобиля и планировании его загрузки.

На рис. 9 показан график хода заправки на газозаправочной колонке ЛПА-ГЗК. Заправка выполняется по массе (с автоматическим измерением объема баллона) без регулятора давления. В этом примере заправка 122 м<sup>3</sup> газа (примерно эквивалентно 122 л бензина или ДТ) выполнена за 10 мин, что является хорошим результатом. После заправки и выравнивания температуры баллона устанавливается давление 19,6 МПа, равное заданному.



### Наземное хранение газа

Снижаются затраты на строительство АГНКС, поскольку не нужен бункер с системой контроля загазованности, достаточно подготовленной площадки. Недостаток в том, что температура хранимого в аккумуляторах газа зависит от температуры окружающей среды. Зимой заправляется заметно больше газа, чем летом, и давление в баллоне может опасно повыситься, если автомобиль после заправки поместить в теплый гараж.

Только при заправке по массе с учетом температуры окружающего воздуха эксплуатация автомобилей будет полностью безопасной со стабильным заполнением баллонов в любое время года.

### Разделение аккумуляторов на секции с различным давлением

Это решение уменьшает энергозатраты на сжатие газа, увеличивает пропускную способность АГНКС и повышает эффективный (работающий) объем аккумуляторов. Данная сложная и интересная тема будет рассмотрена в будущих статьях.

### Проектирование эффективных АГНКС

Ниже в таблице приведены возможные сочетания новых и старых решений, комбинируемых на АГНКС.

и не согласованных между собой, приводят обычно к проблемам при эксплуатации.

Прибыль от продажи КПГ ниже, чем от продажи жидкого топлива, причем цена ограничена законодательно, поэтому очень важно сделать затраты на эксплуатацию АГНКС минимальными. Для создания действительно эффективной АГНКС нужно учитывать многие согласованные факторы:

- средняя загрузка АГНКС и особенности ее распределения по времени суток влияют на оптимальный выбор компрессоров, аккумуляторов и колонок;
- существуют серьезные ограничения (площадь территории, расположение окружающих объектов), которые зачастую упускаются при планировании строительства;
- наличие необходимой электрической мощности, поскольку зачастую неопытный проектировщик не учитывает гораздо большее энергопотребление АГНКС по сравнению с обычной АЗС;
- особенности подвода газа, располагаемое давление и производительность газопровода;
- множество других, казалось бы, малозначимых моментов.

В России и ближнем зарубежье еще во времена СССР создана достаточно большая сеть АГНКС. Эти станции работают и сейчас, но нуждаются в глубокой модернизации.

Таблица

Параметр		Функция заправки по массе в колонке	
		Есть	Нет
Регулятор давления перед колонкой	Нет	Самый быстрый и точный способ заправки с контролем заправляемой массы и компенсацией по температуре. Требуется соответствующей автоматики колонки	Недопустимый вариант. Невозможно контролировать давление в баллоне из-за перепада на заправочном устройстве, а другого способа контроля процесса заправки нет
	Есть	Сочетание имеет смысл только при настройке регулятора на максимально допустимое давление (защитная функция). Если же регулятор настроен на конечное давление в баллонах, то сочетание бессмысленное, т.к. более сложная и дорогая колонка не ускоряет заправку, ограниченную регулятором	Скорость заправки низкая. Возможен расчет количества заправленного газа по давлению в баллоне. Так реализована заправка на АГНКС старой постройки
Расположение аккумуляторов	Наземное	Типовой современный вариант. Обеспечивает удешевление аккумуляторов и оптимальную заправку	Потенциально опасный вариант. Зимой возможно аварийное повышение давления в баллонах в теплом гараже после заправки
	Подземное	Нормальный вариант, если аккумуляторы уже есть (реконструкция). При строительстве новой АГНКС дорогое подземное хранилище в сочетании с заправкой по массе не целесообразно	Традиционная схема. Отличается дороговизной аккумуляторов и медленной заправкой, однако сбалансирована с точки зрения стабильности заправки и безопасности

Мы рассмотрели в статье некоторые особенности структуры АГНКС (рис. 10) и различные «мелочи», способные серьезно изменить экономическую эффективность, а иногда и безопасность заправки природным газом. Еще раз подчеркнем, что АГНКС существенно сложнее для проектирования и строительства, чем АЗС с жидким топливом. Попытки строительства АГНКС из разрозненных блоков, приобретенных у разных поставщиков

Модернизация имеющегося объекта может быть существенно дешевле, чем строительство с нуля, но правильный подход к проектированию в этом случае, пожалуй, еще важнее. В ходе эксплуатации старые станции подвергались ремонтам и мелким доработкам, причем зачастую эти доработки плохо документированы. Задача проектировщика при модернизации такого объекта прежде всего выявить истинное состояние, а это невозможно без тщательного обследования

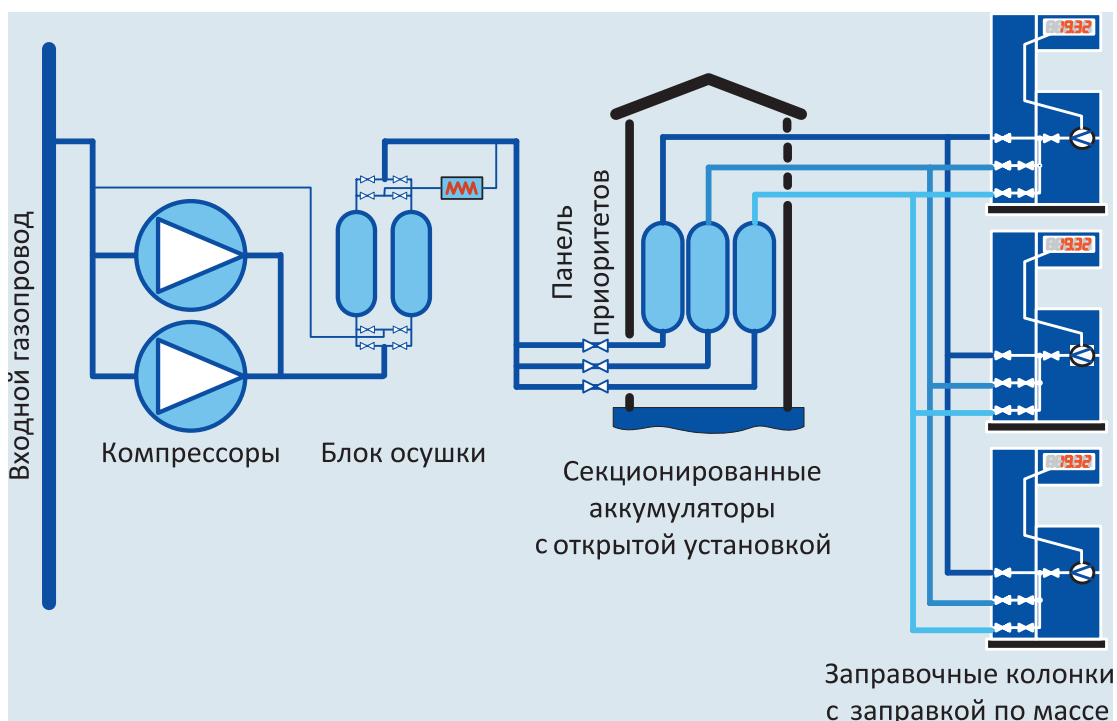


Рис. 10. Современная структура АГНКС



объекта. Пренебрежение этой процедурой приводит к различным нестыковкам в ходе модернизации и последующим проблемам при эксплуатации. Заметим, что и при строительстве новой станции предпроектное обследование площадки не является лишним, поскольку «на бумаге» учесть все особенности, как правило, невозможно.

Итак, проектирование АГНКС и поставку оборудования лучше всего выполнять комплексно. При этом для правильного выбора поставщика услуг и оборудования нужно обращать внимание на такие моменты:

- опыт компании в газовой отрасли, знание специфических отраслевых стандартов;
- наличие в компании специалистов по различным направлениям – строительству, газовым технологиям, силовому электрооборудованию, автоматике;

- готовность к новому объекту, проведению обследования, работе как с документацией, так и непосредственно со специалистами заказчика;

- предпочтительно, чтобы проектирование и поставка оборудования выполнялась одной компанией или группой компаний-партнеров.

В следующих статьях цикла мы подробнее рассмотрим особенности отдельных блоков АГНКС, остановимся на различных технологических схемах (например, многолинейной заправке, организации «виртуальной трубы»), приведем примеры эффективных приемов модернизации и строительства АГНКС. С интересом примем пожелания и конструктивную критику от читателей.



**Преимущества:**

- Расширенный температурный диапазон
- Минимальные потери газа
- Безопасность

Характеристика	Значение
Количество постов заправки, шт.	1 или 2
Количество линий давления, шт.	1, 2 или 3
Производительность заправки, кг/мин	1...50 (для автотранспорта) 1...70 (для ПАГЗ)
Рабочее давление, МПа	25
Давление заправки, МПа	19,6 (для автотранспорта) 24.5 (для ПАГЗ)
Рабочая температура воздуха, °С	от - 40 до + 40
Межповерочный интервал, лет	2
Погрешность измерения заправленного количества газа, не более, %	1
Габаритные размеры, мм	1065 x 595 x 2190
Интерфейс связи с системой учета	RS-485



**КОМПРЕССОРНЫЕ МОДУЛИ СЕРИИ CLEVER – БЛОКИ АГНКС В ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ НА БАЗЕ ПОРШНЕВЫХ W-ОБРАЗНЫХ КОМПРЕССОРОВ**



**Преимущества:**

- Сокращение протяженности энергетических коммуникаций
- Уменьшение затрат на строительство и эксплуатацию
- Удобство технического обслуживания и ремонта

Модель	Краткое описание	Входное давление / Производительность	Применение
Clever-M	Компрессор и блок осушки в одном контейнере	1-6 бар: до 2000 Н·м³/час. 6-12 бар: до 2500 Н·м³/час.	Ключевой блок АГНКС любой производительности
Clever-L	АГНКС в одном блоке	1-6 бар: до 1000 Н·м³/час. 6-12 бар: до 1300 Н·м³/час.	АТП и МАЗС средней загрузки, коммерческие АГНКС
Clever-S	Мини-АГНКС в одном блоке	1-5 бар: до 150 Н·м³/час.	Малые АТП, МАЗС низкой загрузки
Clever-D	Дочерняя АГНКС	5-220 бар: до 3500 Н·м³/час.	Разгрузка пассивных ПАГЗ