

Эволюция АГНКС

Продолжение цикла статей. Начало см. в № 1 (49) и 2 (50) 2016 г.

АГНКС – это производственный объект с известным набором оборудования. Подбор этого оборудования определяется требуемой производительностью станции и ограничивается доступными ресурсами: давлением и выделенными лимитами газа, электрической мощностью, площадью участка и т.д. С другой стороны, владелец АГНКС заинтересован в повышении рентабельности станции. Оказывается, некоторые подсистемы АГНКС поддаются оптимизации, и путем принятия верных структурных решений можно получить заметный эффект.

Часть 3. Виртуальная труба

Я.А. Евдокимов, научный сотрудник НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»,
Е.П. Лавров, начальник проектного отдела НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

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

Доставка КПП без трубопровода

Хорошо известны достоинства компримированного природного газа (КПП) как моторного топлива. Есть области, где использование КПП особенно выгодно, и одна из них – обеспечение топливом автопредприятий. Унифицированное газовое оборудование и организация обслуживания парка однородного транспорта снижают эксплуатационные расходы, а низкая цена топлива дает прямую экономию. Крупные транспортные фирмы, например, занимающиеся городскими автобусными перевозками, могут быть заказчиками строительства АГНКС.

Место для АГНКС должно быть выбрано так, чтобы холостые пробеги транспорта на заправку и обратно были минимальны. Нельзя забывать о пониженном запасе хода газобаллонных автомобилей (ГБА) и повышенном времени их заправки по сравнению с заправкой жидким топливом. Все это усиливает требования к оптимальному месту расположения АГНКС. С другой стороны, на расположение АГНКС накладываются определенные ограничения: не всегда имеется газопровод и возможность подключения к нему в желаемом месте заправки транспорта.

Для доставки КПП без трубопровода к месту заправки используются передвижные автомобильные газозаправщики (ПАГЗ). ПАГЗ представляет собой автомобиль или прицеп, на котором установлены баллоны высокого давления и соответствующая арматура для заправки ГБА. При всей внешней простоте ПАГЗ имеет определенные особенности. Лишний раз напомним, что газовое топливо обладает сжимаемостью, что

делает ПАГЗ не просто «цистерной с раздаточной колонкой», как, например, заправщик жидкого топлива.

ПАГЗ начали использовать одновременно с появлением сетей АГНКС. Малый запас хода при использовании КПП и необходимость сокращения холостых пробегов на заправку привели к организации доставки газа при помощи заправщиков, оборудованных большими баллонами (Рис. 1).

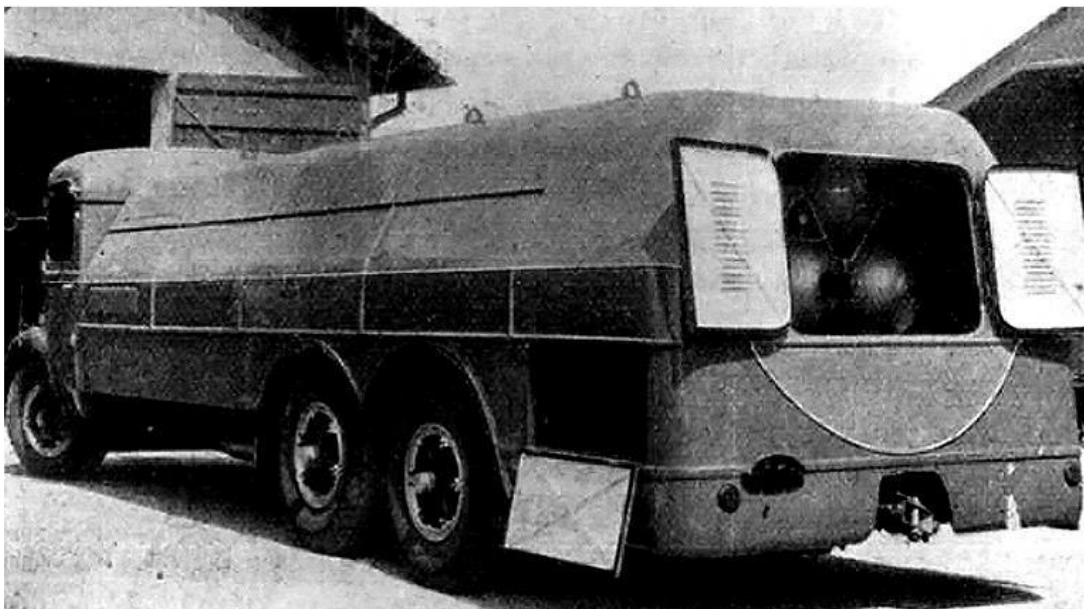


Рис. 1. ПАГЗ 1940-х годов, Италия (с сайта <http://www.federmetano.it/la-federazione/storia/>)

Со временем оказалось, что для повышения безопасности и удобства заправки автомобилей целесообразно оборудовать заправочную площадку аналогично стационарной АГНКС, то есть устраивать ограждения, монтировать стационарные колонки и систему контроля утечки газа (СКУГ). Также (об этом – ниже) иногда целесообразно устанавливать стационарный компрессор для почти полной откачки газа из ПАГЗ.

Совокупность оборудования, обеспечивающего транспортировку газа от входа АГНКС до заправки автомобилей, иногда называют «виртуальной трубой», или «виртуальным газопроводом».

Возможные структуры виртуальной трубы

Давление в баллонах ПАГЗ, разумеется, должно быть выше давления заправки автомобилей. Если все баллоны ПАГЗ объединены, то полезный объем газа, который можно заправить в автомобили, чрезвычайно мал. Его легко рассчитать как

$$\left(1 - \frac{P_{\text{запр}}}{P_{\text{ПАГЗ}}}\right) V_{\text{ПАГЗ}} \frac{P_{\text{запр}}}{P_{\text{атм}}},$$

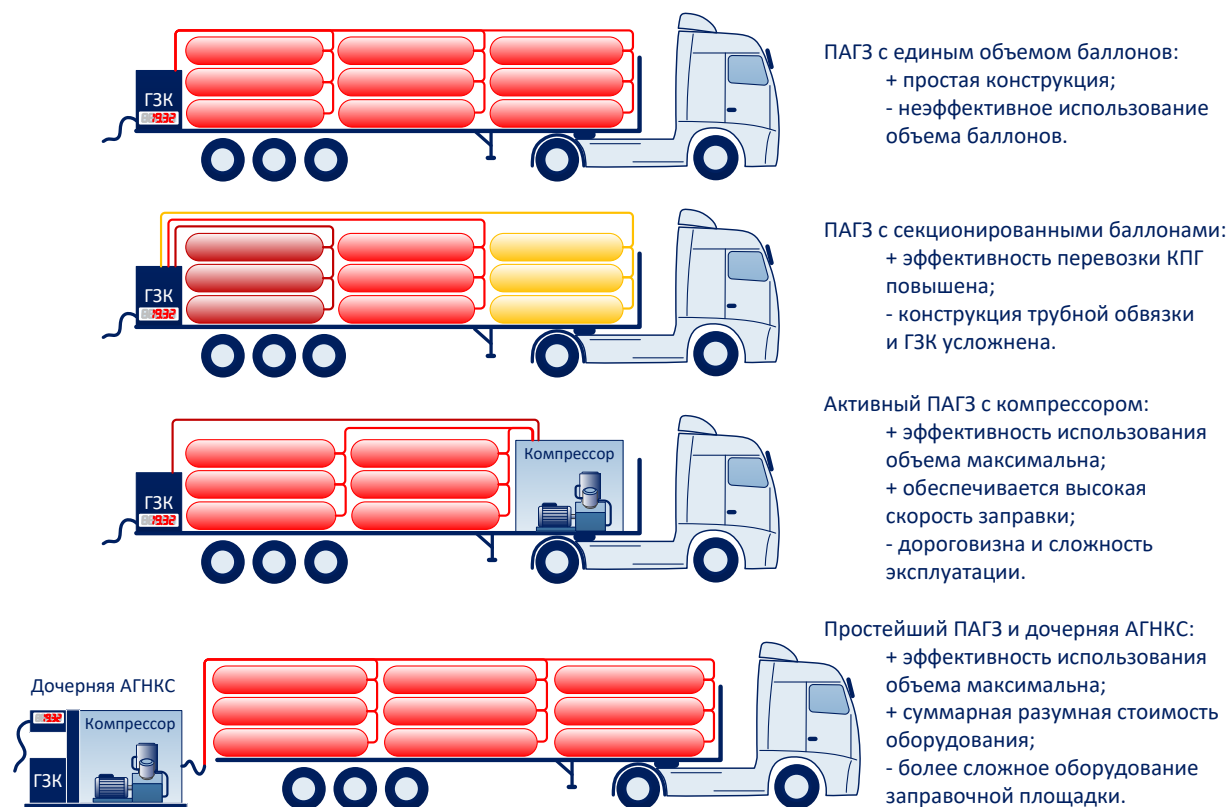
то есть при объеме баллонов $16,8 \text{ м}^3$ (80 баллонов по 210 л) и давлении в них 24,5 МПа (давление не может быть чрезмерно высоким из соображений безопасности) ПАГЗ будет доставлять к месту заправки всего около 800 м^3 газа (около 550 кг) при собственной массе конструкции 24 т (максимально разрешенная для дорог общего пользования).

Чтобы увеличить полезный объем, баллоны ПАГЗ объединяют не в единое хранилище, а в секции. Прием секционирования здесь работает аналогично секционированию аккумуляторов АГНКС, рассмотренному в предыдущей статье. При заправке автомобиля вначале используется низкое давление, затем повышенное, и только в конце баллон «набивается» полным давлением. В таком случае секция высокого давления ПАГЗ может быть сравнительно небольшой, газ из секций среднего и низкого давления используется практически полностью, а баллоны автомобилей заполняются максимально. Конечно, по мере расходования газа в ПАГЗ скорость заправки уменьшается, с этим приходится мириться.

Можно обеспечить и быструю заправку автомобилей с практически полным опустошением баллонов ПАГЗ. Для этого уже необходим компрессор. ПАГЗ превращается, по сути, в передвижную АГНКС, только без входного трубопровода. Такой ПАГЗ называется «активным», он значительно сложнее и дороже обычного, и в каких-то редких случаях его применение может быть оправданно. Экономическое обоснование выбора ПАГЗ рассмотрим ниже (рис. 2, табл. 1).

Важно понимать, что заправка автомобилей от ПАГЗ не может выполняться в произвольном месте. Для организации заправочной сети необходимо обустройство площадок, соответствующих определенным требованиям, в местах заправки транспорта. Имеет смысл установка компрессора не на ПАГЗ, а на заправочной площадке в сочетании с использованием простейшего ПАГЗ, подключаемого на вход этого компрессора. Такое решение называется «дочерней АГНКС», дополняющей материнскую АГНКС, на которой заправляются ПАГЗ.

Интересно, что в некоторых случаях на дочерней АГНКС может и не быть компрессора. Такая структура имеет смысл, если предполагается коммерческая заправка, а не заправка собственного транспорта автопредприятия, но проектная производительность заправки невелика. Подобная АГНКС должна быть оборудована системами коммерческого учета, безопасности (в том числе пожарной), необходимыми стационарными ограждениями заправочных постов. Все это, разумеется, невозможно или нецелесообразно перевозить на ПАГЗ. Отсутствие же компрессора существенно снизит стоимость станции.



ПАГЗ с единым объемом баллонов:
 + простая конструкция;
 - неэффективное использование объема баллонов.

ПАГЗ с секционированными баллонами:
 + эффективность перевозки КПГ повышена;
 - конструкция трубной обвязки и ГЗК усложнена.

Активный ПАГЗ с компрессором:
 + эффективность использования объема максимальна;
 + обеспечивается высокая скорость заправки;
 - дороговизна и сложность эксплуатации.

Простейший ПАГЗ и дочерняя АГНКС:
 + эффективность использования объема максимальна;
 + суммарная разумная стоимость оборудования;
 - более сложное оборудование заправочной площадки.

Рис. 2. Некоторые варианты структуры ПАГЗ (что за плюсы и минусы на рисунке – пояснить)

Таблица 1

Возможные варианты структуры ПАГЗ и виртуальной трубы

Вариант	Преимущества	Недостатки
ПАГЗ с единым объемом баллонов	Простота конструкции	Очень малый эффективный объем, используется около 20 % полного объема газа. Без дожимного компрессора использование неэффективно, такая конфигурация в настоящее время не используется
ПАГЗ с секционированными баллонами	Повышена эффективность, при трех секциях используется 50...60 % полного объема	Усложнена конструкция трубной обвязки
Активный ПАГЗ с компрессором	Использование объема до 95 %	Низкая весовая отдача из-за массы компрессора. Сложность и дороговизна конструкции. Компрессор сокращает число баллонов, при наличии которых можно было бы получить такой же полезный объем газа, как и без компрессора, но при меньшей массе ПАГЗ. Такое решение целесообразно применять, когда компрессор может быть использован как для заправки ПАГЗ от трубы, так и для его опорожнения. Но, насколько известно авторам статьи, такие решения еще не выпускаются серийно. Кроме того, газ перед заправкой в ПАГЗ

		требуется осушать, это значит, что либо ПАГЗ нужно оснащать своим блоком осушки, что еще больше снижает полезный объем газа, либо газ в ПАГЗ будет ненадлежащего качества
Простейший ПАГЗ в сочетании с дочерней АГНКС	Использование объема до 95 %, высокая грузоподъемность ПАГЗ	Усложнение и удорожание оборудования на стороне заправочной площадки
Секционированный ПАГЗ в сочетании с дочерней АГНКС с компрессором	Использование объема ПАГЗ до 95 %. Возможность работы ПАГЗ как отдельно (благодаря секционированию), так и вместе с компрессором на дочерней АГНКС	Усложнение и удорожание оборудования
Секционированный ПАГЗ и дочерняя АГНКС без компрессора	Удешевление оборудования дочерней АГНКС. Возможность организации коммерческой заправки	Уменьшение эффективного объема ПАГЗ. Решение подходит для небольшой производительности заправки

Согласно действующим в России и ближнем зарубежье требованиям, производить заправку автомобилей от ПАГЗ в произвольном месте запрещено. Площадка должна удовлетворять Требованиям пожарной безопасности СП 156.13130.2014, то есть:

- иметь ограждение;
- быть оснащенной системой пожаротушения;
- иметь молниезащиту и защиту от статического электричества;
- находиться не ближе оговоренных расстояний от дорог, строений, лесных массивов;
- удовлетворять другим требованиям, оговоренным для АГНКС.

Таким образом, использование ПАГЗ требует определенной инфраструктуры – во-первых, АГНКС, подсоединенную к газопроводу и оборудованную для заправки ПАГЗ, во-вторых, сам ПАГЗ (один или несколько) и в-третьих, площадку (одну или несколько) для заправки автомобилей.

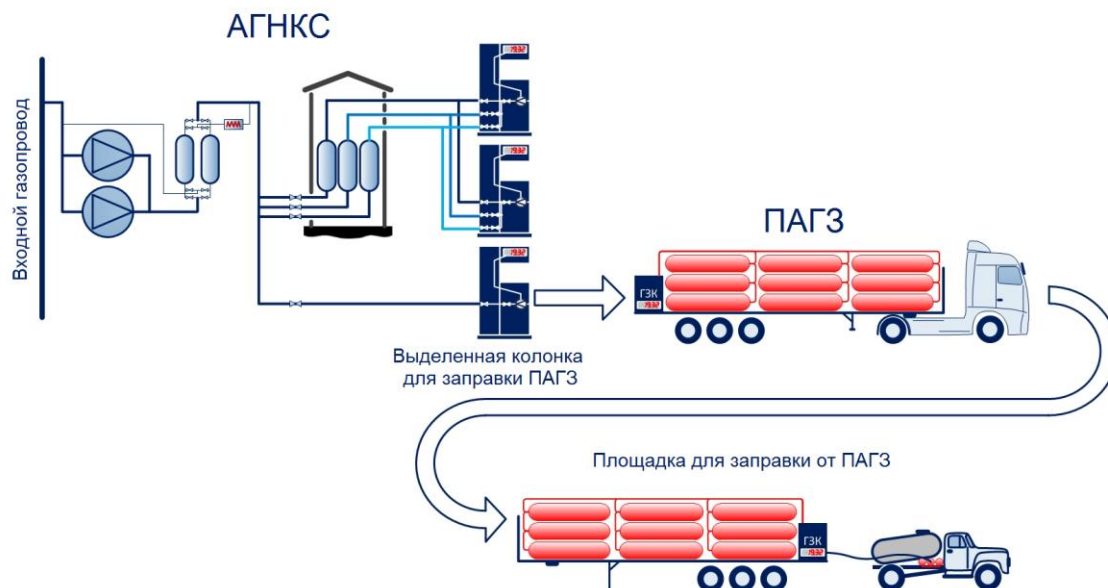


Рис. 3. Виртуальная труба с пассивным ПАГЗ

При организации заправки с помощью ПАГЗ зачастую не учитывают требования к площадке для этой цели, что приводит к ошибочному выводу, например, о высокой эффективности активного ПАГЗ. Да, активный ПАГЗ максимально эффективно использует полезный объем баллонов, но этот объем понижен, поскольку ПАГЗ перевозит еще и компрессор. В то же время такой ПАГЗ все равно не полностью автономен в силу ограничений, накладываемых на место заправки автомобилей. В ряде случаев более эффективно будет дооборудовать места заправки компрессорным модулем, который не требуется никуда перевозить. Также (об этом уже упоминалось) на дочерней АГНКС могут быть стационарно смонтированы все системы, необходимые для коммерческой заправки, кроме собственно компрессора. Это допустимо для удешевления при небольшой производительности виртуальной трубы.

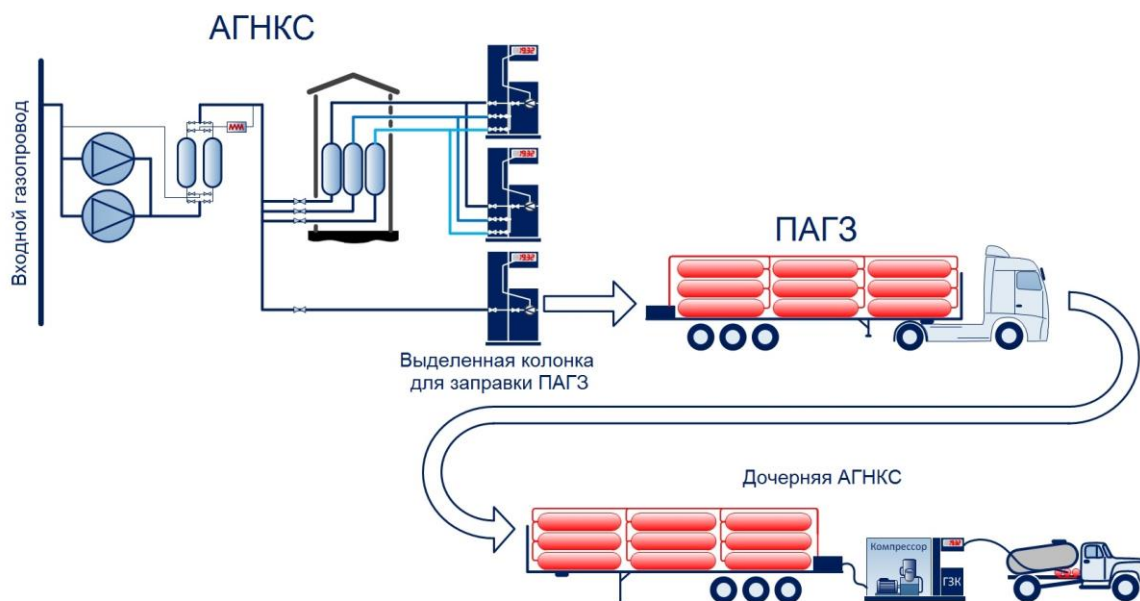


Рис. 4. Виртуальная труба с дочерней АГНКС

Компоновка ПАГЗ и различные типы баллонов

Наиболее широко применяются два основных типа ПАГЗ: конструкция с малым числом больших баллонов (а б

Рис. 5а) и конструкция с кассетами, состоящими из большого числа баллонов меньшего объема (а б

Рис. 5б). На первый взгляд, увеличение объема отдельных баллонов повышает полезную нагрузку ПАГЗ. Тем не менее, на практике в настоящее время больше распространены ПАГЗ второго типа с большим числом и меньшим объемом баллонов. Причина в том, что цена баллонов непропорционально растет с увеличением объема. Кроме того, пожалуй, более важны надежность и безопасность: отдельный баллон можно



легко отключить от общей обвязки в случае неисправности, лишь незначительно ухудшив общие характеристики ПАГЗ. Конструкция с большим числом баллонов проще

масштабируется под разный объем ПАГЗ, а увеличение массы конструкции компенсируется применением современных легких баллонов.

а *б*

Рис. 5. Две компоновки баллонов на ПАГЗ

На автотранспорте, в том числе и в составе ПАГЗ, применяются баллоны четырех типов (стандартизированы в ГОСТ Р ИСО 11439–2010):

- тип 1 – цельнометаллические баллоны;
- тип 2 – металлические баллоны с тонкой стенкой в цилиндрической части, усиленные навивкой высокопрочного волокна (стекловолокно, кевлар и т.п.);
- тип 3 – баллоны с тонкостенным металлическим сосудом (так называемый лейнер), обвитые упрочняющим волокном целиком, включая и полусферические части;
- тип 4 – баллоны с пластиковым лейнером, целиком обвитые волокном и содержащие металлические закладные элементы только в горловинах.

От первого к четвертому типу уменьшается масса баллонов. Баллоны характеризуются так называемым удельным весом, или коэффициентом весового совершенства, – масса баллона, приходящаяся на один литр геометрического объема. Для баллонов типа 1 этот показатель составляет примерно 1,1 кг/л, типа 2 – приблизительно 0,7 кг/л, типа 3 – около 0,4 кг/л, и типа 4 – не более 0,3 кг/л. Для ПАГЗ этот показатель во многом определяет весовую отдачу, то есть соотношение полезной нагрузки (масса газа) и массы конструкции. Конечно, заманчиво было бы везде использовать самые легкие баллоны типа 4, но от типа к типу растет и цена баллона.

Ниже (Рис. 6) представлены данные по весовому совершенству и экономической эффективности баллонов разных типов. Показатель экономической эффективности здесь вычислен как приведенный к относительным единицам объем, приходящийся на 1 руб. цены и на 1 кг массы баллона. Очевидно, что в настоящее время целесообразно применение баллонов типа 3: удельный вес от третьего типа к четвертому снижается незначительно, но повышенная цена делает общую эффективность баллонов типа 4 даже несколько ниже, чем у типа 3. Возможно, ситуация когда-то изменится, если технология изготовления цельнокомпозитных баллонов типа 4 станет более дешевой.

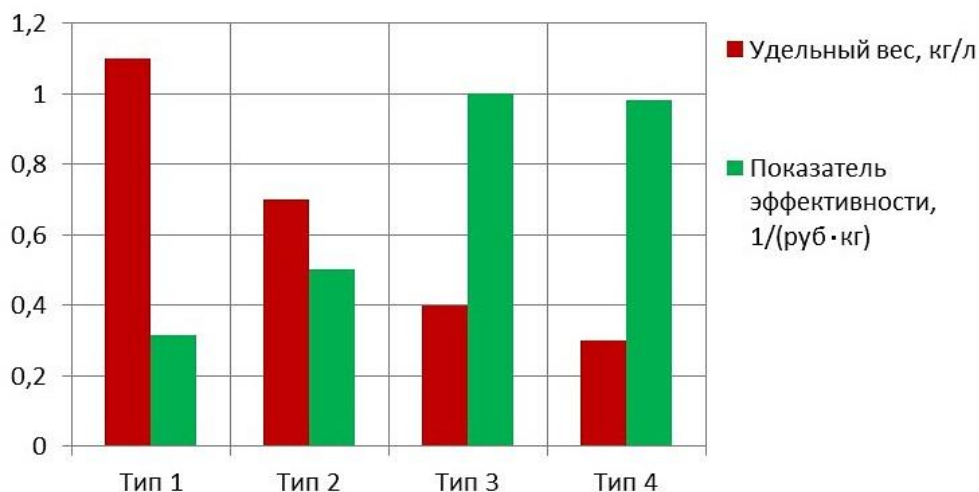


Рис. 6. Сравнение эффективности баллонов разных типов

Секционирование ПАГЗ

В нашей первой статье мы рассматривали особенности течения газа в баллон при заправке. Напомним основной момент: газ при течении в баллон нагревается, причем степень нагрева зависит как от скорости его течения, так и от теплоизоляции баллона. Чем быстрее заполняется баллон и чем лучше он изолирован от окружающей среды, тем выше нагрев. И, наоборот, при истечении из баллона газ охлаждается.

ПАГЗ представляет собой большую емкость. Понятно, что для быстрого заполнения требуется максимальный расход газа. Это приводит к тому же явлению недозаполнения при заправке, что и на малых баллонах автомобилей. Поскольку объем ПАГЗ велик, то заправка «по массе» (рассмотренная в первой статье данного цикла) не решает проблему. Единственный выход заключается в ограничении скорости заправки ПАГЗ и обеспечении отстоя ПАГЗ с выравниванием температуры и последующей дозаправкой. Если не учитывать это явление, то объем перевозимого в ПАГЗ газа будет существенно уменьшен. Важно понимать, что в паспортных характеристиках ПАГЗ указывается его вместимость для «идеального» случая. Чтобы приблизиться к заявленной вместимости в реальной эксплуатации, необходимо несколько замедлить заполнение ПАГЗ. Такова неизбежная плата за полноту заполнения баллонов.

Обратное явление, то есть охлаждение ПАГЗ при заправке от него автомобилей, приводит к падению давления, замедлению заправки и недоиспользованию объема ПАГЗ. Когда делается расчет предельно производительной эксплуатации ПАГЗ, то есть сценария, по которому ПАГЗ заправляется на АГНКС, а затем с максимально возможной скоростью заправляет весь парк автомобилей, необходимо учитывать это охлаждение. В большинстве случаев это не делается. При эксплуатации ПАГЗ возникает закономерный

вопрос: почему реальные характеристики ниже заявленных, где обман? Обмана нет, есть просто недостаточный учет более тонких, чем кажется, процессов заправки КПП.

Необходимо упомянуть и еще один источник кажущегося «обмана» в характеристиках ПАГЗ. Состав газа в различных точках Единой системы газоснабжения несколько отличается, а вместимость ПАГЗ обычно рассчитывают применительно к чистому метану. На вид незначительное отличие в коэффициенте сжимаемости приводит на фоне большого давления и объема к заметному искажению характеристик в худшую сторону. Все перечисленное обязывает нас к тому, чтобы расчет ПАГЗ выполнялся под конкретные условия эксплуатации, а не использовались напрямую заявленные паспортные характеристики.

Точно так же, как на стационарных АГНКС, секционирование хорошо повышает эффективность ПАГЗ. Степень использования объема существенно повышается, поскольку снижение давления в односекционном ПАГЗ сразу же приводит к невозможности заправки, а в двух- или трехсекционном можно снизить давление в «низких» секциях существенно больше, продолжая заправку до необходимого уровня из «высокой» секции. Покажем это на примере.

Если ПАГЗ не разделен на секции, то его эффективный объем – это газ, который попадет в баллоны заправляемых автомобилей до падения давления в заправщике. Как только давление снизится до давления заправки, она прекратится. Нетрудно рассчитать, что использовано будет лишь $100 \cdot \left(1 - \frac{19,6}{24,5}\right) = 20\%$ общего объема газа в ПАГЗ.

Остальной газ перевозится впустую, что снижает эффективность перевозки.

Для секционированного ПАГЗ расчет сложнее, поскольку необходимо учитывать объем каждой секции (заметим, что объемы секций не должны быть равными для оптимального опорожнения). Приведем пример моделирования давления в секциях при заправке автомобилей (рис. 7).

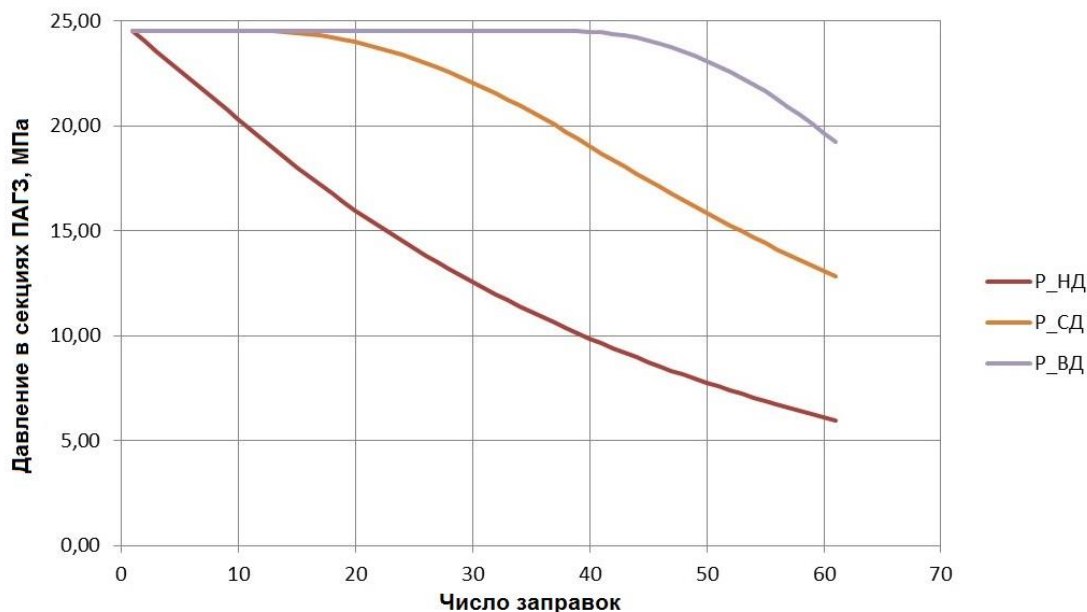


Рис. 7. Расчет давления в секциях ПАГЗ при заправке автомобилей

Видно, что в секциях низкого и среднего давления удается существенно снизить давление в процессе заправки, то есть максимально эффективно использовать газ, заправленный в ПАГЗ. За счет этого в данном примере используется 60 % объема газа в заправщике.

Эффективный объем, а значит и экономическая эффективность перевозки КПГ, повышается приблизительно в три раза при использовании трехсекционной схемы. Если для аккумуляторов АГНКС эффект от секционирования не столь очевиден на фоне усложнения и удорожания арматуры, то для пассивного ПАГЗ секционирование выгодно всегда.

Нужен ли дожимной компрессор?

При пассивном способе заправки существует противоречие между ее скоростью и степенью заполнения как ПАГЗ, так и автомобильных баллонов. Секционирование ПАГЗ лишь отчасти решает эту проблему. Для существенного улучшения характеристик необходим компрессор.

Дожимной компрессор имеет достаточно большую мощность и массу, требует внешнего подвода электроэнергии. В силу этого компрессор желательно устанавливать стационарно.

Из всего многообразия схем виртуальной трубы можно отобрать две наиболее подходящие для России и ближнего зарубежья: пассивный ПАГЗ с трехсекционной схемой баллонов и система из ПАГЗ и компрессора на дочерней АГНКС. Сравним эти варианты и их область применения.

Как уже упоминалось, фактическое использование объема ПАГЗ далеко от полного. Хорошим показателем является использование объема на 60...65 %, а это означает, что остальные 35...40 % газа возвращаются на пункт заполнения ПАГЗ. Чтобы избежать этого, используют дожимной компрессор на дочерней АГНКС, при этом степень использования объема ПАГЗ возрастает до 95 % (большие значения не рекомендуются производителями баллонов, так как могут привести к снижению срока их эксплуатации). Разумеется, компрессор потребляет электроэнергию, к тому же появляются затраты на его установку и обслуживание.

Интересно, что цена ПАГЗ сопоставима с ценой устройства компрессорной установки на дочерней АГНКС. Напомним, что объем ПАГЗ используется чуть более, чем наполовину. В итоге варианты «использовать два ПАГЗ вместо одного» и «дополнить ПАГЗ дожимным компрессором» сопоставимы по начальным затратам. Сравним энергетическую составляющую эксплуатационных затрат, то есть избыточные расходы на топливо в первом случае и увеличение затрат электроэнергии – в другом.

Рассчитаем цену топлива, требуемого для перевозки 1 м³ газа при использовании пассивного ПАГЗ. Эта цена определяется расходом топлива тягача, ценой топлива и коэффициентом использования объема ПАГЗ. Если коэффициент равен 0,6, то паспортный объем ПАГЗ необходимо разделить на эту величину, чтобы получить истинный объем доставляемого потребителям газа.

При использовании дожимного компрессора объем ПАГЗ используется на 90...95 % (будем для простоты считать, что полностью), но появляются дополнительные затраты электроэнергии на работу компрессора. Строго говоря, потребляемая мощность, а значит и расход электроэнергии, изменяется по мере откачки газа из ПАГЗ, но примем для упрощенного расчета среднее постоянное значение. Таким образом, расходы на перевозку газа снижаются (нет «паразитного» объема, перевозимого обратно), но к ним добавляются расходы на сжатие газа, который в предыдущем случае просто не попал бы в баллоны автомобилей.

Пример расчета цены доставки газа показан на рис. 8. Рассматривался ПАГЗ вместимостью 5000 м³ с дизельным тягачом и дожимным компрессором мощностью 50 кВт. Видно, что при малом расстоянии от материнской АГНКС до места заправки автомобилей использование компрессора невыгодно. Но начиная примерно с 50 км расходы на перевозку начинают превышать расходы на сжатие газа, и появляется смысл в размещении компрессора на дочерней АГНКС. Это только пример. Для каждого конкретного проекта необходимо выполнять технико-экономические расчеты индивидуально.

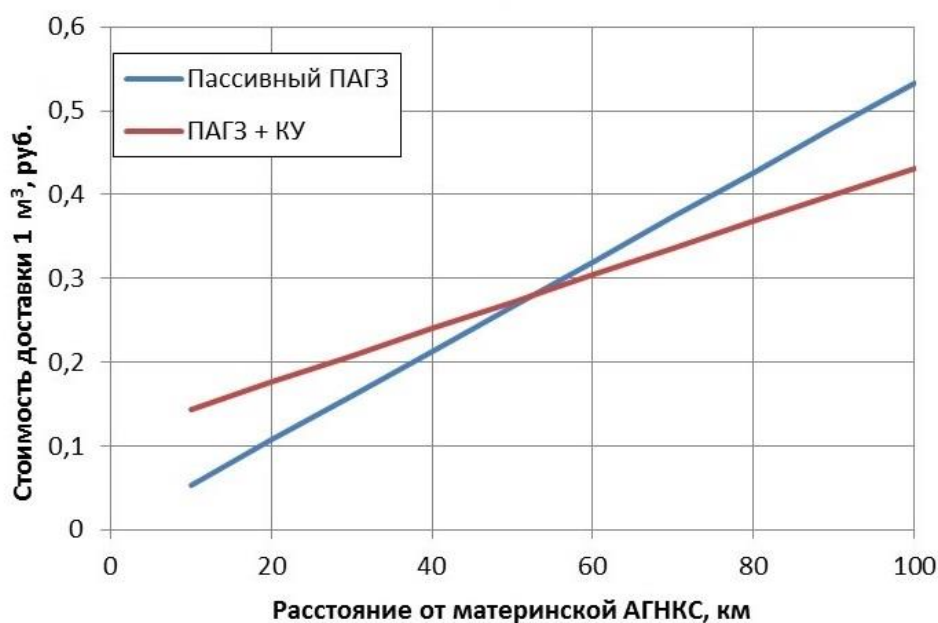


Рис. 8. Стоимость доставки газа при разных вариантах организации виртуальной трубы – пассивный ПАГЗ и компрессорная установка на дочерней АГНКС

Использование дожимного компрессора повышает равномерность и скорость заправки автомобилей, а в сочетании с небольшим аккумулятором позволяет сглаживать перерывы, вызванные переключением ПАГЗ, если дочерняя АГНКС рассчитана на большую производительность.

До сих пор мы в рассуждениях предполагали, что дочерняя АГНКС предназначена для снабжения сжатим природным газом автомобилей (например, автобусов) одной фирмы. В этом случае процедура заправки и коммерческих расчетов упрощена. Если же предполагается продавать газ внешним покупателям, то есть прямой смысл строить полноценную АГНКС с заправочной галереей и ограждением ее, местом установки ПАГЗ, полноценной СКУГ и несколькими заправочными постами, отличающейся только тем, что станция подключается не к трубопроводу, а к ПАГЗ, устанавливаемому на выделенной площадке.

В целом, можно дать следующие рекомендации по организации виртуальной трубы (табл. 2).

Таблица 2

Рекомендуемые структуры виртуальной трубы

Назначение виртуальной трубы	Структура
Снабжение КПП парка автомобилей, принадлежащих одной организации, число автомобилей невелико, достаточно объема одного ПАГЗ	Пассивный трехсекционный ПАГЗ, простейшая площадка для заправки, колонка встроена в ПАГЗ
Парк автомобилей одной организации достаточно велик, одного ПАГЗ недостаточно	В зависимости от расстояния до материнской АГНКС (см. выше) – или работа нескольких ПАГЗ на простейшей площадке, или установка дожимного

	компрессора и стационарных колонок на дочерней АГНКС
Планируется коммерческая поставка КПП внешним потребителям	Устройство дочерней АГНКС со стационарными колонками, СКУГ, бетонным ограждением площадки для ПАГЗ в общедоступном месте по нормам, принятым для АГНКС, со стационарным дожимным компрессором или возможностью его установки впоследствии

Проектирование виртуальной трубы должно осуществляться с учетом комплекса разных факторов: это и проектная производительность заправки, и расстояние между материнской и дочерней АГНКС, и даже состав транспортируемого газа. Для правильного выбора оборудования целесообразно обращаться к специалистам, имеющим опыт проектирования АГНКС, так как многие задачи здесь схожи.

В заключение следует заострить внимание на способе перевозки газа, который можно считать более перспективным – перевозка не сжатого, а сжиженного природного газа (СПГ). Это позволяет значительно повысить грузоподъемность транспорта для перевозки, повысив плотность газа. Но такой способ требует использования не простых АГНКС, а установок сжижения и регазификации, что пока не получило большого распространения в нашей стране. К теме СПГ мы, возможно, обратимся в следующих публикациях.