

ляет трудности в связи со смазкой двигателей. В случае переизбытка ЕИГ или отказа газодизелей придется прибегнуть к нерациональной утилизации паров груза посредством ГТУ или вентиляции.

3. Для количественной оценки утилизации испаряющегося груза необходима информация о зависимостях количества теплоты ЕИГ от времени, что позволит анализировать динамику изменения баланса теплоты.

Список литературы

1. *Чепалис И. В.* Повторное сжижение газов, как метод стабилизации давления в грузовых танках метановозов / И. В. Чепалис, Н. А. Козьминых // Судовые энергетические установки. — 2014. — № 33. — С. 41–48.
2. *Выгон Г. В.* Развитие мирового рынка СПГ: вызовы и возможности для России / Г. В. Выгон, М. Белова // Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО, 2013. — С. 2.
3. The world's newest LNG carriers // LNG shipping news. — 2014. — P. 6–7.
4. *Пахомов Ю. А.* Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания / Ю. А. Пахомов. — М.: ТрансЛит, 2007. — 528 с.
5. *Jean-François Castel, Jérémie Leriche.* Feedback on the operation of the dual fuel diesel electric propulsion on LNG carriers: impact of gas fuel quality on propulsion efficiency.
6. *Arto Sarvi, Jorma Jokiniemi, Jussi Lyyränen, Ron Zevenhoven.* Combustion in dual fuel gas engines. The effect of LCV-gases and detonation sensitivity // International Flame Research Foundation. — Naantali, Finland. — 2009. — 17 p.
7. *Ваншейдт В. А.* Дизели / В. А. Ваншейдт. — Л.: Машиностроение, 1964. — 600 с.
8. *Фастовский В. Г.* Метан / В. Г. Фастовский. — М.: Гостолтехиздат, 1947. — 156 с.
9. *Талантов А. Е.* Основы теории горения. / А. Е. Талантов. — Казань: Ротапринт КАИ, 1975. — 253 с.
10. *Возницкий И. В.* Практические рекомендации по смазке судовых дизелей / И. В. Возницкий. — СПб.: Моркнига, 2007. — 64 с.
11. *Michael Wenninger, Sokrates Tolgos.* LNG carrier power Flexibility and Maintainability with 51/60 DF electric propulsion MAN Diesel SE. Augsburg, Germany, 2008. — 22 с.
12. ГОСТ 31369-2008. Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. — М.: Стандартинформ, 2009. — 59 с.
13. *Чепалис И. В.* Анализ последствий и критичности отказов установок повторного сжижения газов судов-метановозов / И. В. Чепалис, Н. А. Козьминых // Технические газы. — 2014. — № 3. — С. 38–42.
14. *Костылев И. И.* Зарубежное судостроение. Состояние и тенденции / И. И. Костылев, М. К. Овсянников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 66–70.

УДК 662.76.004.14:621.436

Л. А. Хлюпин,
канд. техн. наук, доц.

СХЕМЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КАПТИРОВАННОГО ГАЗА ДЛЯ ГАЗОДИЗЕЛЯ

SCHEME OF COOKING CAPTURED GAS FOR GAS-DIESEL ENGINE

Выполнены исследования в обеспечение практической реализации расширения ассортимента газового топлива для газодизелей за счет использования каптированного газа, который в больших объемах

выделяется при горных разработках. Безопасность работы в таких условиях требует дегазации шахт и подъема на поверхность различных смесей природного газа с воздухом, использование которых, например, в газодизельгенераторных установках позволит частично компенсировать затраты электроэнергии на местах горных разработок. Исследована возможность создания установки для имитации каптированного газа вне шахтных условий. В статье представлены варианты принципиальных схем установки для подготовки природного газа и приготовления его смесей с воздухом для стендовых испытаний газодизелей. Многовариантность разработанных схем определяется возможными величинами давления газа на входе, газа и смеси на выходе из установки, а также концентрациями природного газа в воздухе.

Performed research in the practical implementation of the expansion of the gas fuel gas diesel engines through the use of captured gas, which in large quantities from you is when mining. Work safely in such conditions requires degassing of mines and rise to the surface of various mixtures of natural gas with air, the use of which, for example, in gazodiselgeneratoryj installations will partly offset the cost of electricity to mining areas. Investigate the possibility of establishing a simulation captured gas out of coal mine conditions. The article presents ways schematics of the setup for the preparation of natural gas and making it mixes with air for bench testing of gas-diesel engines. The multiplicity of the developed schemes is determined by the possible values of the pressure gas inlet, and gas mixture at the outlet of the installation, as well as concentrations of natural gas in the air.

*Ключевые слова: газодизель, каптированный газ, оборудование.
Key words: gas-diesel engine, captured gas, equipment.*

II

При разработке принципиальных схем изготовления каптированного газа для газодизелей учтены следующие условия газообеспечения:

– состав газового топлива — природный газ (85 % метана) или смесь (25 % природного газа + воздух) [1];

– давление природного газа на входе в установку может иметь различные значения в соответствии с реальной возможностью подключения ее к городской газопроводной сети: 101–105 кПа (сеть низкого давления), 105–400 кПа (сеть среднего давления), 400–1100 кПа (сеть высокого давления) [2];

– давление газового топлива на выходе из установки поддерживается постоянным в диапазоне 100–400 кПа.

Условные обозначения, принятые при разработке принципиальных схем установки, приведены в следующей таблице [3] – [4].

Условные обозначения, принятые при разработке принципиальных схем установки

Условное обозначение	Наименование элементов	Условное обозначение	Наименование элементов
	Смеситель С.1, С.2 (отличается рабочим давлением)		Аккумуляторы АГ, АВ (соответственно газа и воздуха)
	Компрессор КГ, КВ (соответственно газа и воздуха)		Блок настройки
	Клапан блокировочный КБл		Клапаны запорные предохранительные ПЗК _н , ПЗК _в (соответственно низкого и высокого давления)
	Редуктор РНД, РВД (соответственно низкого и высокого давления)		Пропорционизатор П.1, П.2 (отличается рабочим давлением)

	Клапан сбросной предохранительный ПСК _н , ПСК _в (соответственно низкого и высокого давления)		Дополнительное сопротивление Д
	Кран		Фильтр Ф
	Расходомер Р		Выпуск в атмосферу
	Трубопровод основной		Трубопровод сигнальный

Фильтры для очистки газа или воздуха от пыли, ржавчины и других твердых частиц препятствуют преждевременному износу запорных, измерительных и регулирующих устройств. Предохранительный запорный клапан автоматически прекращает подачу газа к потребителям в случае повышения или понижения его давления относительно заданных пределов. Регулятор давления автоматически снижает давление газа, поддерживая его постоянным на заданном уровне независимо от расхода и колебаний давления на входе. Пропорционизатор обеспечивает поддержание постоянного соотношения расходов природного газа и воздуха, поступающих в смеситель при изменении расхода газозвоздушной смеси, давления в смесителе и давления газа перед пропорционизатором [5] – [6]. Предохранительный сбросной клапан ограничивает давление газа в контролируемой точке газопровода путем сброса его избыточного количества в атмосферу при повышениях давления сверх заданного значения, а также защищает газопровод после установки от недопустимого повышения давления газа в случае неплотного запираания прохода предохранительным запорным клапаном при его срабатывании [7]. Клапан блокировочный автоматически прекращает подачу газа в случае отсутствия подачи воздуха к смесителю.

Задача исследования состояла в разработке схемных решений установки, имитирующей шахтный каптированный газ, предназначенный для стендовых испытаний газодизелей. Необходимые расчеты выполнены применительно к газодизелям, создаваемых на базе дизелей типа ЧН22/24 (4-, 6-, 8- и 12-цилиндровые с $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$) и ЧН32/35 (4-, 6- и 8- цилиндровые с $n = 800 \text{ мин}^{-1}$). Мощность газодизелей принята такой же, как и у соответствующих базовых дизелей (2310–3280 кВт на номинальных режимах), в газодизельном цикле диапазон допустимой нагрузки от 25 до 100 % номинальной мощности.

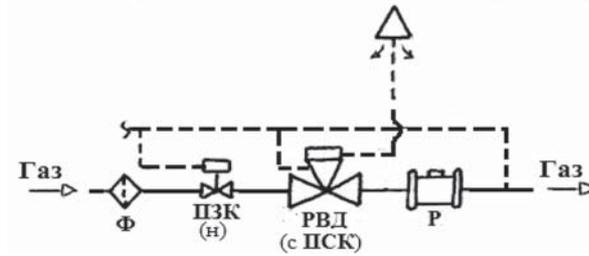
Состав газового топлива: природный газ (85 % метана) или смесь (25 % природного газа с воздухом). Для указанных газодизелей расчетные значения расхода природного газа и смеси изменяются в пределах, соответственно, 48,6–730,5 и 194,4–2922,0 Н·м³/ч [8]. Характерной особенностью эксплуатации такой установки будет переменный по времени режим газопотребления при поддержании постоянного давления на выходе. Для обеспечения стабилизации давления и расхода газового топлива на выходе из установки в случае необходимости следует предусмотреть резервирование газа (при набросе нагрузки газодизеля) и выпуск его избытка на свечу (при сбросе нагрузки газодизеля). Исходя из расходов природного газа и его смесей с воздухом для конкретного газодизеля, можно оценить требуемые объемы аккумуляторов газа и воздуха, а также обеспечить правильный выбор компрессоров, смесителей и другого необходимого оборудования, проходных сечений трубопроводов.

Схемы подготовки природного газа и приготовления его смесей с воздухом во многом определяются величиной давления газа на входе $P_{г.вх}$ и выходе газа $P_{г.вых}$ и смеси $P_{см}$ из установки [9], а также их соотношением [10]. Для каждого из вариантов предложены следующие основные принципиальные схемы установки.

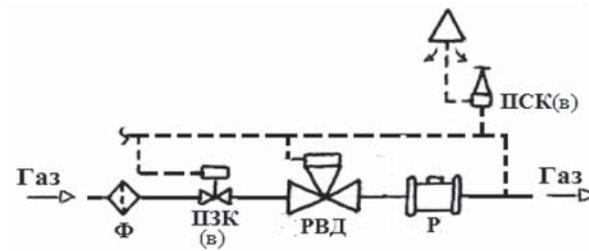
1. Схемы подготовки природного газа

1.1. При $P_{г.вх} > P_{г.вых}$

Вариант 1. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего или высокого давления;
 $P_{г.вых}$ — низкое давление газа на выходе.

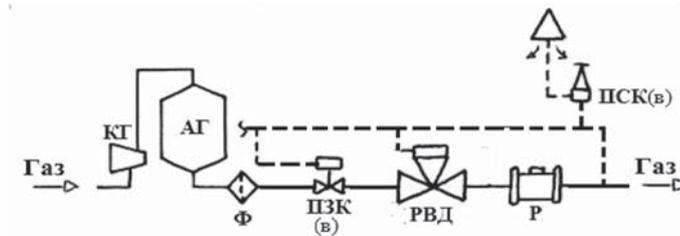


Вариант 2. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего или высокого давления;
 $P_{г.вых}$ — среднее давление газа на выходе.



1.2. При $P_{г.вх} \leq P_{г.вых}$

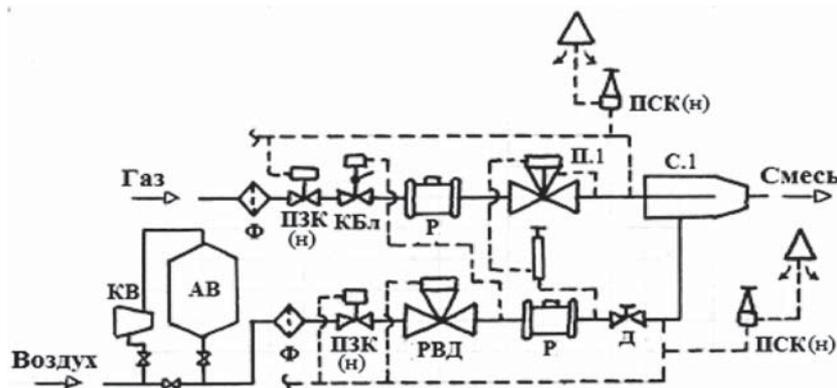
Вариант 3. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления;
 $P_{г.вых}$ — среднее давление газа на выходе.



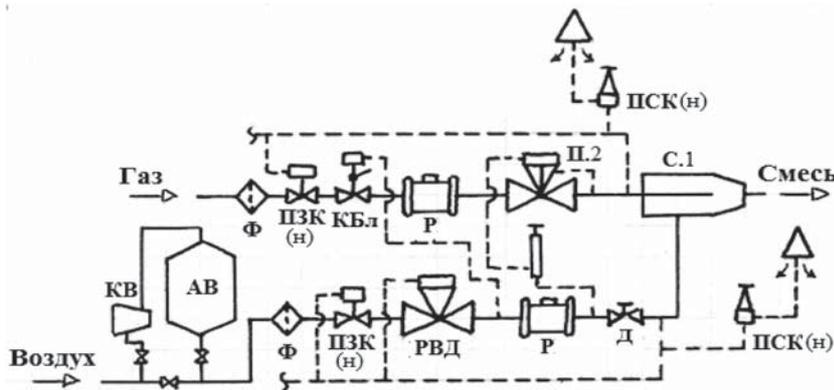
2. Схемы приготовления смеси природного газа с воздухом

2.1. При $P_{г.вх} > P_{см}$

Вариант 1. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления; $P_{см}$ — низкое давление смеси.

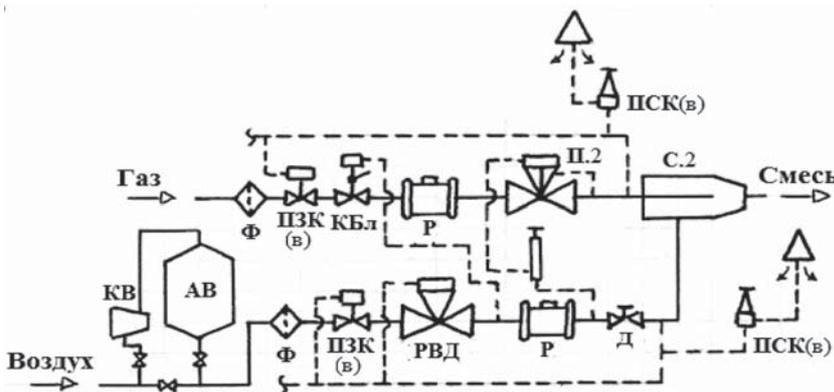


Вариант 2. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети высокого давления; $P_{см}$ — низкое давление смеси.



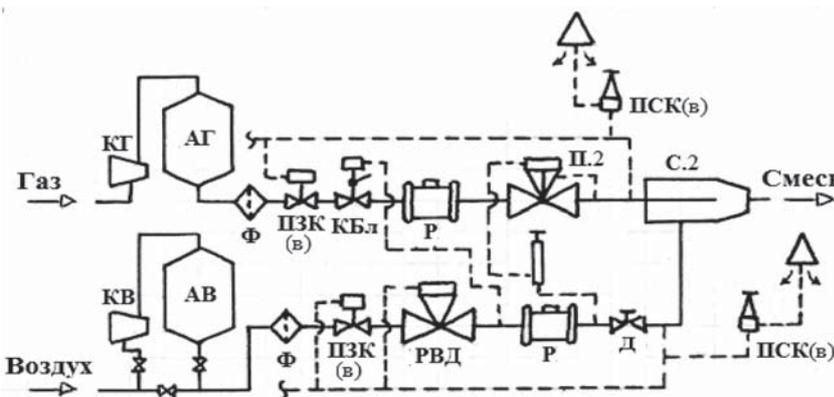
Вариант 3. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети высокого давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Перепад давления ($\Delta P = P_{г.вх} - P_{см}$) является достаточным для обеспечения требуемого диапазона пропорционирования.



Вариант 4. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего и высокого давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Перепад давления ($\Delta P = P_{г.вх} - P_{см}$) недостаточен для обеспечения требуемого диапазона пропорционирования.



2.2. При $P_{г.вх} \leq P_{см}$

Вариант 5. $P_{г.вх}$ — давление газа на входе от сети среднего давления; $P_{см}$ — среднее давление смеси.

Принципиальная схема установки соответствует схеме варианта 4.

Следующим этапом исследования явилась разработка методики и выполнение гидравлических расчетов параметров установки для двух технологических линий: одна — для природного газа; другая — для смесей природного газа и воздуха, включающая подачу природного газа к смесителю и подачу воздуха к смесителю. Полученные расчетные данные и рекомендуемые перечни оборудования и арматуры для удобства их практической реализации представлены применительно к каждому из рассматриваемых газодизелей с учетом их реально возможных условий газообеспечения и эксплуатации.

В процессе исследования рекомендовано определять типоразмер пропорционизатора, т.е. его модификацию и диаметр устанавливаемого в нем седла производить исходя из максимального перепада давления газа на тракте смесителя и соответствующего этому давлению максимального расхода газа.

Модификация смесителя определяется величиной его рабочего давления, а типоразмер зависит от производительности. Смесители одной модификации и разного типоразмера отличаются сменными узлами, позволяющими для каждого типоразмера устанавливать оптимальную величину диаметра трактов для газа, воздуха и смеси.

При проектировании систем газоснабжения установок, смесители которых оснащаются пропорционизаторами, необходимо стремиться к максимально возможному давлению в газовой сети перед установкой и к минимальным потерям давления на элементах сети, расположенных между сетью и регулятором, с тем, чтобы не получать чрезмерно большого повышения давления на входе регулятора при понижении расхода газа.

Если надежность работы установки обеспечивается ее гидравлическим расчетом, то оптимальный вариант схемного решения — учетом условий эксплуатационного и (или) экономического характера. Последнее предопределило стремление не только к унификации рекомендуемого основного оборудования и арматуры для установки, но и использования оборудования в виде набора блоков. Комплектация оборудования в пределах блока определится требуемой производительностью установки, а общее количество блоков — исходными требованиями и конкретными условиями размещения установки. В общем виде установка может состоять из блоков:

- приема и фильтрации газа (включает фильтры, ПЗК);
- сжатия и резервирования газа (компрессор, аккумулятор);
- распределения газа (редукторы давления, пропорционизаторы);
- замера расхода газа (расходомеры, ПСК);
- приема и фильтрации воздуха (фильтры, ПЗК);
- сжатия и резервирования воздуха (компрессор, аккумулятор);
- распределения воздуха (редукторы давления);
- замера расхода воздуха (расходомеры, ПСК);
- смешения и выдачи смеси (смесители).

На стадии проектирования схема установки дополняется измерительными приборами и датчиками.

Результаты проведенного исследования показали возможность создания на базе отечественного оборудования установки для обеспечения газодизелей природным газом и его смесью с воздухом, т.е. каптированным газом вне шахтных условий.

Разработаны варианты схемного решения установки, учитывающие диапазон возможного изменения параметров природного газа и воздуха до и после установки.

Разработана методика гидравлического расчета установки для оценки параметров систем, оборудования и арматуры с учетом широкого диапазона изменения производительности установки по природному газу и смеси газа с воздухом, удовлетворяющих все варианты схемного решения.

Результаты выполненных расчетов явились основой для унификации основного оборудования и позволяют реализовать блочный принцип формирования систем установки в зависимости от конкретных условий ее эксплуатации.

Уровень проработок достаточен для выполнения проектных работ по созданию пропорционизаторов и смесителей, требуемых модификаций и типоразмеров, а также в целом установки с укомплектованием ее необходимыми серийно выпускаемыми оборудованием, арматурой и контрольно-измерительными приборами.

Список литературы

1. RU 2306423 C1, МПК E 21 F 7/00. Способ утилизации шахтного метана / А. М. Карасевич (RU), Е. А. Пацков (RU), Н. М. Сторонский (RU), А. А. Фалин (RU). Оубл. 09.20.2007.
2. РД 34.30.106-95. Руководящие указания по проектированию систем газоснабжения с давлением природного газа до 5,0 МПа для ГТУ и ПГУ ТЭС. — М., 1995.
3. ГОСТ 21.609-83. Газоснабжение. Внутренние устройства. — М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. СН и П 2.04.08-87. Газоснабжение. — М.: Изд-во стандартов, 1991.
5. ВНПО «СОЮЗПРОМГАЗ». Пропорционизаторы расходов прямого действия типа ПРПД1 и ПРПД1А: техн. описание и инструкция по эксплуатации. — М.: ПТП ПРОМЭНЕРГОГАЗ, 1977.
6. Хлюпин Л. А. Схемные решения системы питания дизеля каптированным газом / Л. А. Хлюпин // Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС: тр. СПбГУВК. — СПб.: Изд-во «ПаркКом», 2006. — С. 256 — 258.
7. ГОСТ 9544-93. Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов. — М.: Изд-во стандартов, 1993.
8. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления / Утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 18 марта 2003 г. № 9.
9. ГОСТ Р 54983-2012. Системы газораспределительные. Сети распределения природного газа. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация. — М.: Изд-во стандартов, 2012.
10. Разработка схемно-параметрических решений блочной установки по подготовке газового топлива с различными свойствами: отчет о НИР (заключ.): 92-149 / СПГУВК; рук. Л.А. Хлюпин. — СПб.: СПГУВК, 1993. — 389 с.