

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ: НАПРАВЛЕНИЯ И ВАРИАНТЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

С.В. ГОЛОВИН

*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: msgpa@msgpa.edu.ru*

Рассмотрен вопрос совершенствования автономных энергетических комплексов буровых установок разведочного бурения. Опыт эксплуатации установок утилизации теплоты (УУТ) с воздушным теплоносителем позволил выявить ключевые проблемы, ограничивающие максимально эффективное использование комплексного автономного энергоисточника: «жесткая» связь системы отопления буровой установки и системы охлаждения дизель-агрегата; прямая зависимость мощности утилизированного теплового потока от величины нагрузки дизель-агрегата; трудоёмкость управления процессом утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций. Для решения проблем предложено внесение в УУТ ряда конструктивных изменений и дополнений, позволяющих разделить тепловые потоки в теплоутилизационной системе, тем самым обеспечить независимую работу подсистемы теплоснабжения от эксплуатационных нагрузок дизель-агрегата энергетического комплекса. Предложено внедрить систему автоматического регулирования работы теплоутилизационного комплекса в составе автономного комплексного энергоисточника буровой установки разведочного бурения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: разведочное бурение; буровая установка разведочного бурения; комплексное энергообеспечение; автономное энергоснабжение; энергосбережение; утилизация теплоты; импортозамещение; оптимизация; автоматизация.

MODERNIZATION OF AUTONOMOUS ENERGETIC COMPLEX OF DRILLING RIG FOR EXPLORATORY DRILLING: DIRECTIONS AND VARIANTS OF OPTIMIZATION SOLUTIONS

S.V. GOLOVIN

*Russian State Geological Prospecting University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay' street, 23; e-mail: msgpa@msgpa.edu.ru*

The problem of improving the autonomous energetic complexes of drilling rigs for exploratory drilling is considered. The experience of exploitation of heat recovery systems (HRS) with air coolant allowed revealing of key problems, limited maximum effective use of complex autonomous energy source: «rigid» connection of the systems of heating of the drilling rig and cooling of diesel aggregate; straight dependence of the power of utilized heat on the value of charge of the diesel aggregate; labour absorptivity of heat of the mobile diesel power stations. To solve the problem some constructive alternations and additions are suggested to be made in HRS, allowing separation of heat currents in the system. This leads to the independent work of the subsystem of heat supply from the operational charges of the diesel aggregate of the energetic complex. The system of automatic regulation of heat recovery complex in the autonomous energetic complex of drilling rig of exploratory drilling.

K e y w o r d s: exploratory drilling; boring machine of exploratory drilling; complex power supply; autonomous power supply; energy saving; heat recovery; import substitution; optimization; automation.

Тема оптимизации работы теплоутилизационных систем автономных энергетических комплексов буровых установок разведочного бурения на сегодняшний день продолжает оставаться актуальной по нескольким причинам.

Во-первых, утилизацию, т. е. полезное (от латинского *utilis* — польза) использование, теплоты передвижных дизельных электростанций (ДЭС), как технически и экономически важный и востребованный процесс при проведении децентра-

лизованных геолого-разведочных работ в низкотемпературных климатических зонах, необходимо непрерывно совершенствовать, с учётом постоянного развития технологий и возникновения новейших технических решений.

Во-вторых, автоматическое регулирование процесса утилизации теплоты передвижных ДЭС и поддержания необходимого температурного режима буровой с учетом множества факторов, тесно взаимосвязанных с повышением эффективности разве-

дочного бурения [12], позволит освободить буровиков от дополнительной работы по поддержанию температурного режима и контролю воздушной обстановки, а также создать предпосылки для интегрирования систем автоматического регулирования процесса утилизации теплоты в динамично развивающийся процесс автоматизации бурения.

В-третьих, в условиях действия экономических санкций против России, актуальным видится решение задачи импортозамещения, направленное на совершенствование имеющегося парка буровой техники и внедрение новых решений для создания современного конкурентоспособного российского оборудования.

Специфическая особенность геолого-разведочных работ заключается в высокой территориальной разобщённости отдельных передвижных буровых установок и их удалённости от стационарных систем энергообеспечения. Эти факторы предполагают использование, по классификации [5], как автономных источников электроэнергии — передвижных ДЭС, так и автономных систем отопления (теплоэлектронагревателей (ТЭН) или печей).

В этой связи с конца XX в. получило своё развитие научное направление, нацеленное на повышение эффективности разведочного бурения — комплексное автономное энергоснабжение передвижных буровых установок с использованием утилизации теплоты передвижных ДЭС, позволяющей отказаться от печного отопления рабочих мест буровиков и повышающее общий КПД всей такой энергоустановки [10]. Использование теплоутилизационных установок в составе комплексного энергоисточника позволяют отказаться от дорогостоящего (с учётом доставки печного топлива [12]) трудоёмкого печного отопления, исключить загрязнение отходами и продуктами горения, уменьшение полезного объёма помещений, высокую пожароопасность и риски отравления персонала угарным газом при нарушении правил эксплуатации или аварийных ситуациях [3, 4]. ТЭН, создающие нежелательную дополнительную нагрузку на ДЭС, резервируются и используются как доводческая подсистема отопления.

Проведенные испытания и опыт эксплуатации установок утилизации теплоты с воздушным теплоносителем в составе энергетических комплексов передвижных буровых установок разведочного бурения [10] позволили выявить ключевые проблемы, ограничивающие максимально эффективное использование комплексного автономного энергоисточника и сформулировать основные направления их решения [7].

Сравнение двух основных тепловых потоков, — поступающего от радиатора дизель-агрегата и подаваемого в обогреваемое помещение буровой, выявило недостаточность первого для эффективного формирования второго. Кроме того, выполнение операций по поддержанию температурного режима в помещении буровой предполагает дополнительные трудозатраты буровой бригады. Всё это выявило недостаточно полное и эффективное использование утилизируемых потоков теплоты передвижных ДЭС при бурении геолого-разведочных скважин.

Причинами недостатков стали три основные проблемы:

1. «Жесткая» связь системы отопления буровой установки и системы охлаждения дизель-агрегата.
2. Прямая зависимость мощности утилизированного теплового потока от величины нагрузки дизель-агрегата.

3. Трудоёмкость управления процессом утилизации теплоты передвижных ДЭС, дополнительные трудозатраты и отвлечение буровиков от процесса бурения.

После перевода проблем в категорию задач, были предложены конкретные варианты решений по обозначенным направлениям и их конструктивная реализация.

Первое направление — зависимость теплового потока, поступающего в обогреваемое помещение буровой от нагрузки дизель-агрегата.

Проблема: «жесткая» связь системы отопления буровой установки и системы охлаждения дизель-агрегата.

Задача: обеспечить независимость работы двух систем — охлаждения дизель-агрегата и обогрева помещения буровой установки, друг от друга при их тесной взаимной связи.

Решение: разобщение потока воздуха, поступающего с радиатора дизель-агрегата, и потока воздуха, поступающего через теплообменник в обогреваемое помещение буровой.

Конструктивно решено путём установки заслонки-регулятора расхода воздуха в воздуховоде, где проточный вентилятор формирует поток воздуха от радиатора.

Вторым направлением является обеспечение определяющего влияния температурного режима здания буровой на утилизируемый тепловой поток, не зависящего от электрической нагрузки дизель-агрегата.

Проблема: прямая зависимость мощности утилизированного теплового потока от величины нагрузки дизель-агрегата.

Задача: обеспечение определяющего влияния температуры в помещении буровой на поступающий тепловой поток, без зависимости от электрической нагрузки дизель-агрегата.

1-е условие: после завершения рейса, а также при смене инструмента, электрическая нагрузка ДЭС падает до минимума. В этих условиях дизель-агрегата работает на холостом ходу и утилизируемый тепловой поток будет минимальным. Этого может оказаться недостаточно для обеспечения заданного температурного режима помещения буровой, такая ситуация потребует дополнительного теплового потока в здание буровой установки.

Решение: дозагрузка дизель-агрегата и дополнительный прогрев воздуха, поступающего в здание буровой.

Конструктивно решено путем установки в воздуховоде блока ТЭН, создающего дополнительную электрическую нагрузку и играющего роль доводочной подсистемы теплоснабжения.

2-е условие: в случае полной загрузки ДЭС, утилизируемый поток может поднять температуру в обогреваемом помещении буровой выше допустимых пределов. В этом случае потребуются уменьшить тепловой поток в здание буровой без ущерба для эффективного охлаждения радиатора дизель-агрегата.

Решение: уменьшение потока нагретого воздуха в обогреваемое помещение.

Конструктивно решено путём перекрытия потока воздуха через теплообменник заслонкой-регулятором расхода воздуха и перенаправление трехходовым краном потока выхлопных газов по обходной магистрали в теплообменник зумпфа.

3-е условие: в утилизации теплоты нет необходимости, но система должна продолжать эффективное охлаждение радиатора дизель-агрегата, при этом свести к минимуму тепловую нагрузку буровой.

Решение: отключение теплоутилизационной установки в части расхода теплоносителей через теплообменник.

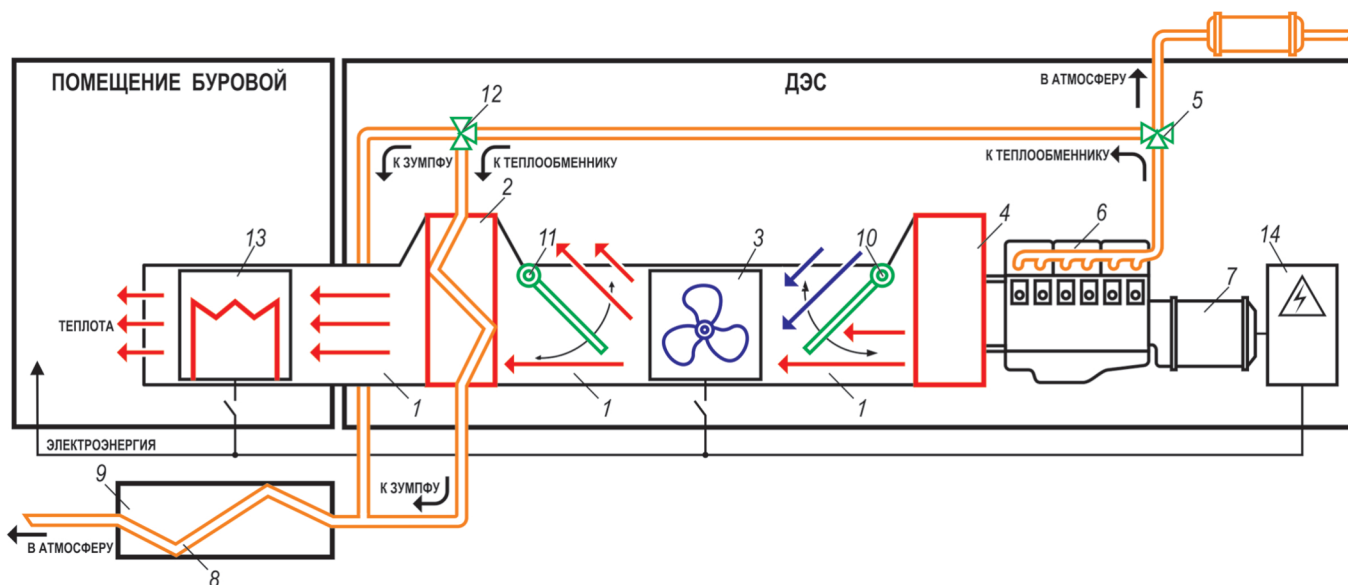


Рис. 1. Модернизированная теплоутилизационная установка в составе автономного комплексного энергоисточника буровой установки разведочного бурения: 1 – воздуховод, 2 – газозвушной теплообменник, 3 – вентилятор, 4 – радиатор охлаждения дизель-агрегата, 5 – трёхходовой атмосферный кран, 6 – дизель-агрегат, 7 – генератор, 8 – теплообменник зумпфа, 9 – зумпф, 10 – регулятор расхода воздуха радиатора охлаждения дизель-агрегата, 11 – регулятор расхода воздуха газо-воздушного теплообменника, 12 – трёхходовой кран газо-воздушного теплообменника, 13 – блок теплоэлектронагревателей, 14 – щит управления

ПОЛОЖЕНИЕ (СОСТОЯНИЕ) РЕГУЛИРУЮЩЕГО И КОММУТИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЕ	РЕГУЛЯТОР РАСХОДА ВОЗДУХА РАДИАТОРА			РЕГУЛЯТОР РАСХОДА ВОЗДУХА ТО			3-ХОД. КРАН АТМОСФЕРНЫЙ		3-ХОД. КРАН ТЕПЛОБМЕН.		ВЕНТИЛЯТОР		БЛОК ТЭН	
	ЗАКРЫТО	ПРИОТКРЫТО	ОТКРЫТО	ЗАКРЫТО	ПРИОТКРЫТО	ОТКРЫТО	К ТО	В АТМОСФЕРУ	К ТО	К ЗУМПФУ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ
ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ	■					■		■	■			■		■
ПРОГРЕВ ДИЗЕЛЬ-АГРЕГАТА	$t_{\text{диз}} < 75^{\circ}\text{C}$	■				■		■	■			■		■
	$75^{\circ}\text{C} < t_{\text{диз}} < 95^{\circ}\text{C}$		■			■		■	■			■		■
	$t_{\text{диз}} > 95^{\circ}\text{C}$			■		■		■	■			■		■
ОТКЛЮЧЕНИЕ УУТ		■				■		■	■			■		■
ОБОГРЕВ ТЕХ.РАСТВОРОВ		■			■			■	■			■		■
ОБОГРЕВ И ПОДДЕРЖАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЯ	$t_{\text{пом}} < t_{\text{зн}}$		■			■		■	■			■		■
	$t_{\text{зн}} < t_{\text{пом}} < t_{\text{зв}}$		■			■		■	■			■		■
	$t_{\text{пом}} > t_{\text{зв}}$			■		■		■	■			■		■
ДОЗАГРУЗКА ТЭН		■			■			■	■			■		■
ОТКЛЮЧЕНИЕ СУТ		■			■			■	■			■		■

Рис. 2. Матрица состояний (положений) регулирующего и коммутирующего оборудования системы автоматического регулирования работы теплоутилизационной установки: ТЭН – теплоэлектронагреватель, ТО – теплообменник, УУТ – установка утилизации теплоты, $t_{\text{диз}}$ – температура охлаждающей жидкости дизель-агрегата, $t_{\text{пом}}$ – температура воздуха в помещении буровой, $t_{\text{зв}}$ – температура заданная верхняя, $t_{\text{зн}}$ – температура заданная нижняя

Конструктивно решено путём перекрытия потока воздуха через теплообменник заслонкой-регулятором расхода воздуха и перенаправление трехходовым краном потока выхлопных газов в атмосферу.

Совместное решение задач по данным направлениям модернизации системы утилизации теплоты позволило предложить модернизированный вариант установки (рис. 1).

Третье направление — автоматическое регулирование основных процессов, протекающих при реализации первых двух направлений совершенствования конструкции системы утилизации теплоты, внедрение системы автоматического регулирования (САР) системы утилизации теплоты, обеспечивающей

Для автоматизации процесса утилизации теплоты ДЭС целесообразно использовать САР утилизируемых тепловых потоков, архитектура которой может быть реализована в виде контура регулирования с обратной связью [1], в котором изменение регулируемой переменной процесса регистрируется первичным элементом, измеряется измерительным преобразователем, регулятор вырабатывает корректирующий сигнал, управляющий исполнительным элементом через регулирующий орган. Полученное после этого воздействия значение регулируемой переменной вновь сравнивается с установкой (заданием). В случае наличия рассогласования процесс регулирования продолжается.

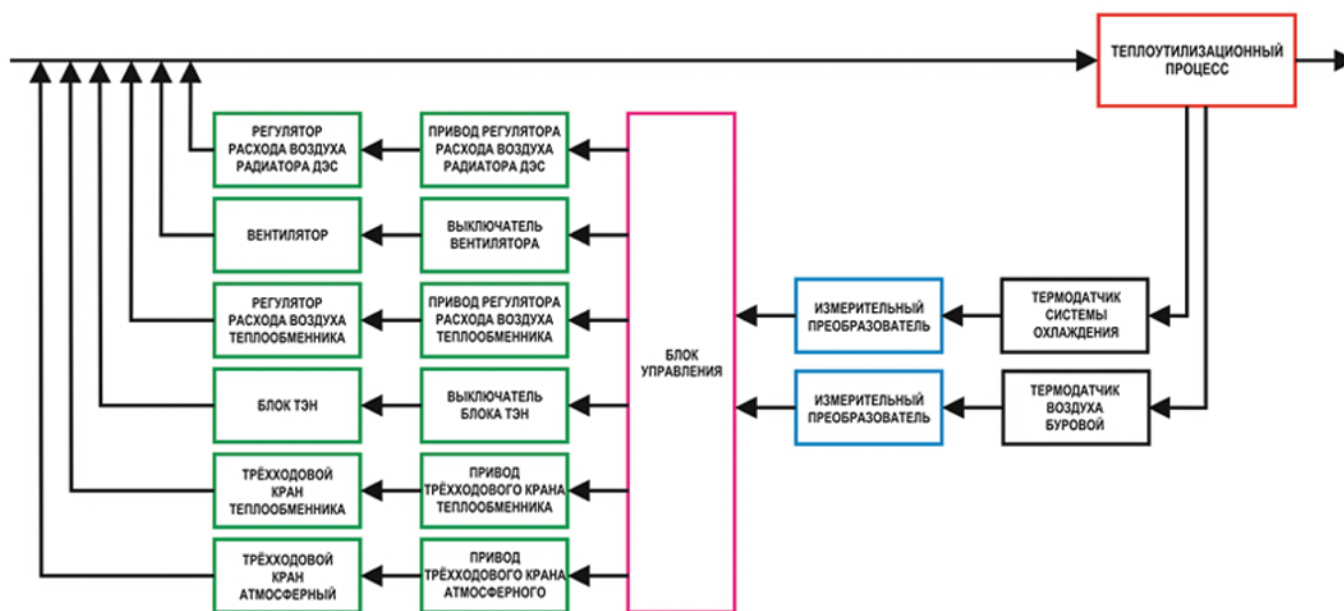


Рис. 3. Контур регулирования с обратной связью применительно к системе автоматического регулирования работы теплоутилизационной установки в составе автономного комплексного энергоисточника буровой установки разведочного бурения: ДЭС – дизельная электростанция, ТЭН – теплоэлектронагреватель

заданный режим работы комплексного энергоисточника без вмешательства со стороны оператора.

Проблема: трудоёмкость управления процессом утилизации теплоты передвижных ДЭС, дополнительные трудозатраты и отвлечение буровиков от процесса бурения.

Решение: автоматизирование процесса регулирования утилизируемого теплового потока с целью минимизации трудозатрат буровой бригады в интересах теплоснабжения помещения буровой установки.

При решении задачи автоматического регулирования [1] процесса утилизации теплоты следует учитывать количественные и качественные характеристики параметров, влияющих на формирование оптимального режима работы теплоутилизационной установки энергетического комплекса буровой установки разведочного бурения [13].

Необходимо принять во внимание, что для каждого из регулирующих и коммутирующих элементов теплоутилизационной установки в любой момент времени есть конечное число положений (состояний), в совокупности которых отражается каждый из режимов работы всей системы, призванной при отклонении температурного режима помещения буровой и дизель-агрегата от заданного возвращать тепловую обстановку в заданные температурные границы. Эти фиксированные состояния можно описать и свести в формализованную матрицу состояний (рис. 2), которую в дальнейшем целесообразно использовать как базу для программирования автоматической регулировки.

В нашем случае (рис. 3) комплексный процесс охлаждения дизель-агрегата, утилизации теплоты ДЭС и обогрева помещения буровой контролируется по совокупности стабильности тепловых режимов дизель-агрегата и помещения буровой термодатчиками воздуха в помещении буровой и термодатчиком системы охлаждения дизель-агрегата. Отклонения от заданных температурных значений компенсируются посредством изменения приводами регуляторов расхода воздуха теплообменника и радиатора охлаждения дизель-агрегата, приводами трехходовых кранов атмосферного и теплоснабжения зумпфа, а также управляемыми выключателями вентилятора и блока ТЭН регулирующими органами положения (состояния) заслонки-регулятора расхода воздуха теплообменника и радиатора охлаждения дизель-агрегата, трехходовых кранов атмосферного и теплоснабжения зумпфа, вентилятора и блока ТЭН по соответствующим сигналам блока управления УУТ.

В развитие уровня автоматизации САР в перспективе должна не только управлять процессом теплообеспечения по заданным алгоритмам, но и диагностировать работоспособность отдельных узлов и механизмов, постоянно контролировать подсистемой газоанализации воздушную обстановку в обогреваемом помещении на предмет обнаружения утечки выхлопных газов из контура системы газовыхлопа в систему отопления, а также быть способной к интеграции с автоматизированной системой управления процессом бурения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.В., Шевырѐв Ю.В., Акимов В.Д. Основы автоматизации и автоматизация горных и геолого-разведочных работ. М.: Недра, 1998, 432 с.
2. Волков А.В., Долгов Б.Л., Тевзадзе Р.Н. Охрана труда при бурении скважин. М.: Недра, 1985. 127 с.
3. Долин Л.А. Справочник по технике безопасности. Шестое издание. М.: Энергоатомиздат, 1984. 824 с.
4. Дрогалин Г.В., Курас Д.М., Полесин Я.Л. Техника безопасности при ГРП. Л.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1961. 372 с.
5. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Обоснование классификации систем комплексного энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ. Мат. XI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Н. Новгород: НГТУ, 2011.
6. Косьянов В.А., Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Головин С.В. Повышение эффективности комплексного энергообеспечения децентрализованных геологоразведочных объектов в условиях Заполярья и Крайнего Севера // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 81–85.
7. Лапыгин Ю.Н. Системное решение проблем. М.: Эксмо, 2008. 336 с.
8. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2008. 136 с.
9. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А., И в ч е н к о И.А. Особенности обоснования оптимальных систем энергоснабжения геологоразведочных работ в современных условиях // Разведка и охрана недр. 2010. № 6. С. 45–47.
10. Меркулов М.В. Оптимизация энергетических комплексов при бурении геологоразведочных скважин в условиях Крайнего Севера. Дис. ... докт. техн. наук / ГОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет». М., 2008. 276 с.
11. Меркулов М.В., Косьянов В.А. Повышение эффективности буровых работ путем совершенствования систем их электроснабжения // Разведка и охрана недр, 2007, № 11. С. 46–47.
12. Меркулов М.В., Косьянов В.А. Обоснование оптимального варианта энергоснабжения на основе технико-экономического моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 8. Деп. № 644/08-08 от 28.04.08.
13. Меркулов М.В., Косьянов В.А. Теплотехника и теплообеспечение геологоразведочных работ. Волгоград: «ИН-ФОЛИО», 2009. 270 с.