

УДК 622.24.08

Е.Л. Леушева, к.т.н., ассистент кафедры бурения скважин, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Санкт-Петербург, Россия); e-mail: leusheva.ekaterina@mail.ru; **В.А. Моренов**, аспирант кафедры электротехники, электроэнергетики, электромеханики, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Санкт-Петербург, Россия), e-mail: morenov@spmi.ru

Энергообеспечение производственных объектов в условиях Севера при кустовом строительстве скважин

При бурении скважин в условиях Севера часто энергетические затраты на теплообеспечение превышают расход энергии на непосредственное осуществление производственных операций. Вместе с тем разработка нефтяных месторождений сопровождается значительными объемами добычи попутного нефтяного газа. Поэтому при кустовом способе разработки группы скважин для осуществления тепло- и электроснабжения целесообразно применять газовые энергогенерирующие установки, функционирующие на попутном нефтяном газе, получаемом от эксплуатируемых объектов. В условиях низких температур воздуха и высокой скорости ветра теплоснабжение необходимо для обеспечения технологического процесса (подогрева бурового раствора) и для создания комфортных условий труда бригады буровиков. Одним из основных параметров теплового режима буровой вышки являются теплотери, большая часть которых будет приходиться на инфильтрацию холодного воздуха через технологические проемы и отверстия, а также на потери теплоты через изолирующие конструкции.

Авторами разработана схема энергоснабжения производственных объектов при кустовом бурении с утилизацией тепла выхлопных газов газотурбинной установки.

Рассмотрен пример возможных теплотерь и потерь на инфильтрацию холодного воздуха на примере буровой вышки ВБ-53-320, сумма теплотерь составляет порядка 1300 кВт. В связи с необходимостью обогрева блока подготовки раствора, различных технических и жилых помещений количество необходимой тепловой энергии может возрасти в 1,5–2 раза. Суммарная мощность привода бурового оборудования для скважин средней глубины составляет 800–2000 кВт. В ходе проведенного анализа было выявлено, что на 1 кВт произведенной электроэнергии газотурбинные установки вырабатывают 2 кВт тепловой энергии, поэтому при использовании шести микротурбин мощностью по 200 кВт, работающих на попутном нефтяном газе, генерируется более 2 мВт тепловой энергии, что достаточно для энергообеспечения процесса кустового бурения.

Применение микротурбин позволяет создать автономный энерготехнологический комплекс для одновременного обеспечения электрических и тепловых нагрузок потребителей. При этом увеличивается эффективность преобразования первичного энергоносителя, уменьшается себестоимость производства энергии, повышается экологичность.

Ключевые слова: энергообеспечение, кустовое бурение, попутный нефтяной газ, газотурбинный агрегат, буровой раствор.

.....

Ye.L Leusheva, Doctor of Science (Engineering), Assistant of the Well Drilling Department, National Mineral Resources University (Mining University) (Saint-Petersburg, Russia), e-mail: leusheva.ekaterina@mail.ru; **V.A. Morenov**, PhD candidate of the Electrical Equipment, Electrical Power, Electrical Engineering Department of National Mineral Resources University (Mining University) (Saint-Petersburg, Russia), e-mail: morenov@spmi.ru

Electric power supply of production facilities in arctic conditions when the wells are constructed in clusters

When drilling wells in the arctic conditions, electric power costs for heat supply often exceed the power consumption to directly perform the production operations. At the same time oil field development is associated with large amounts of associated petroleum gas production. Therefore, when a group of wells is developed in clusters to provide heat and power supply it is reasonable to use gas power generating units using associated petroleum gas received from the operated facilities. In conditions of low air temperatures and high wind speed, the heat supply is required to provide for the process (heating of drilling mud) and create comfortable labor conditions for driller team. Heat losses are one of the main parameters of heat conditions of drilling rig derrick, and larger part of these heat losses will account for inflow of cool air through the process openings and holes, as well as heat losses through the insulating structures.

The authors have developed the power supply diagram for the production facilities in multiple well drilling with exhaust gas heat recovery by the gas turbine unit.

The example of possible heat losses and cool air inflow losses are considered in terms of ББ-53-320 drilling rig derrick with the heat losses amounting to 1300 kW. Due to the necessity of heating the drilling mud treatment unit, various services rooms and accommodation spaces, the amount of necessary heat power may increase by 1.5–2 times. Aggregate capacity of the drilling equipment drive for medium-depth wells is 800–2000 kW. During the analysis it was found that with 1 kW of the generated electric power the gas turbine units generated 2 kW of heat power, therefore when using six microturbines with capacity of 200 kW each using associated petroleum gas, more than 2 MW of heat power are generated and this is enough to ensure power supply for multiple well drilling.

Microturbines allow creating an independent power engineering complex to simultaneously provide for electric and heat loads of consumers. And the efficiency of the primary energy source conversion improves with the power generation prime cost reduced and sustainability increased.

Keywords: power supply, multiple drilling, associated petroleum gas, gas turbine unit, drilling mud.

Бурение и освоение скважин на нефтяных и газовых месторождениях в условиях Севера отличается от традиционных работ особым режимом энергоснабжения промышленных объектов. Нередко энергетические затраты на теплообеспечение промышленных установок, технологических и бытовых помещений в разы превышают расход энергии на непосредственное осуществление производственных операций. При разработке месторождений за полярным кругом отопление потребителей должно производиться круглогодично, а в зимний период – с повышенной интенсивностью и для большего количества объектов. За последние годы участились случаи внезапных перебоев в системе централизованного электроснабжения, выросли тарифы на электроэнергию, повысилась стоимость строительства линий электропередачи, снизилось качество электроэнергии [1]. Более того, использование централизованной энергосистемы для обеспечения нужд производства в большинстве случаев экономически нецелесообразно ввиду значительной удаленности вводимых объектов от существующих линий электропередачи. Наиболее распространенным решением вопроса энергоснабжения объектов поискового и эксплуатационного бурения является использование локальных электротехнических комплексов на базе дизельных

электростанций. Теплоснабжение осуществляется посредством использования теплоэлектронагревателей и индивидуальных печей, что способствует увеличению стоимости производимой энергии.

Вместе с тем разработка нефтяных месторождений сопровождается значительными объемами добычи попутного нефтяного газа. Попутный нефтяной газ – ценное сырье для нефтехимической отрасли и важный ресурс в энергетике, однако в большинстве случаев основная его часть сжигается на факелах. В то же время введенные повышенные штрафы за сверхнормативное сжигание попутного нефтяного газа вынуждают нефтегазовые компании более рационально подходить к вопросам его утилизации. Согласно Постановлению Правительства РФ № 7 от 08.01.2009 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках», требуемый уровень использования попутного нефтяного газа при разработке месторождений составляет 95%. Поэтому при кустовом способе разработки группы скважин для осуществления тепло- и электроснабжения целесообразно применять газовые энергогенерирующие установки, функционирующие на попутном нефтяном газе, получаемом от эксплуатируемых объектов.

Проведенные исследования в рамках буровых геолого-разведочных работ в экстремальных условиях северо-восточных районов и Якутии [4] показали, что расход топлива на отопление здания буровой и буферной емкости для бурового раствора соответствует средней тепловой мощности 50–60 кВт, что сопоставимо с количеством электрической энергии, затрачиваемой на работу бурового оборудования. При нефтяном и газовом бурении эти затраты много больше. Ввиду значительной тепловой нагрузки участка буровых работ целесообразно эксплуатировать газогенераторные установки в режиме когенерации – одновременного производства электроэнергии и тепла (рис. 1).

Для утилизации попутного нефтяного газа в качестве энергоносителя можно использовать газотурбинные установки или газопоршневые агрегаты. Опыт эксплуатации газотурбинных установок и газопоршневых агрегатов нефтяных компаний показал, что газотурбинные установки обладают более высоким коэффициентом выработки тепловой энергии на 1 кВт произведенной электрической энергии, поэтому их применение является наиболее рациональным. Тепловая мощность когенерации для газотурбинных установок может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{ког}} = 2 \cdot n \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{тн}} \cdot K_3 \cdot K_{\text{бр}} \quad (1)$$

Ссылка для цитирования (for references):

Моренов В.А., Леушева Е.Л. Энергообеспечение производственных объектов в условиях Севера при кустовом строительстве скважин // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 5. – С. 92–95.

Morenov V.A., Leushev Ye.L. Jenergoobespechenie proizvodstvennyh ob'ektov v uslovijah Severa pri kustovom stroitel'stve skvazhin [Electric power supply of production facilities in arctic conditions when the wells are constructed in clusters]. *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 5. P. 92–95.

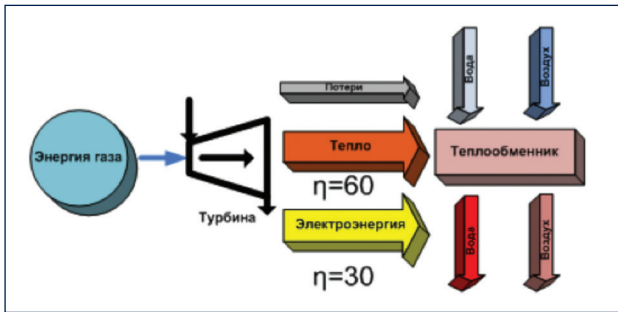


Рис. 1. Схема процесса когенерации
Fig. 1. Cogeneration process diagram

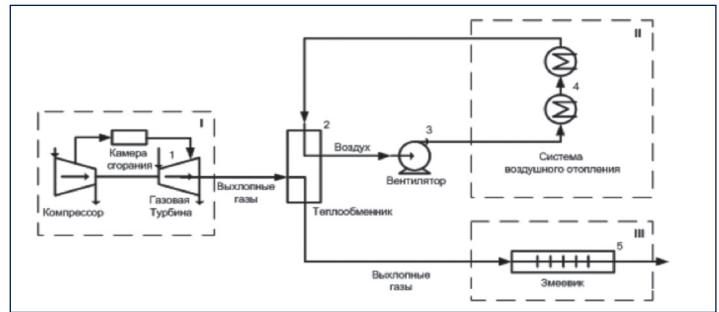


Рис. 2. Принципиальная схема энергоснабжения производственных объектов
Fig. 2. Power supply circuit diagram of production facilities

Для газопоршневых агрегатов соответственно:

$$Q_{\text{ког}} = 1,5 \cdot n \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{ти}} \cdot K_3 \cdot K_{\text{вр}}, \quad (2)$$

где n – количество установок, находящихся в работоспособном состоянии; $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность установки; $K_{\text{ти}}$ – коэффициент технического использования;

K_3 – коэффициент загрузки по установкам;

$K_{\text{вр}}$ – коэффициент, учитывающий потери тепловой мощности с уходящими выхлопными газами.

Среди других достоинств газотурбинных установок в данных условиях можно привести широкий диапазон рабочих режимов, производительность, экологичность. Последней разработкой в области газотурбинных установок являются микрогазотурбинные электроагрегаты, работающие на горючем газе или на жидком топливе. Коэффициент полезного действия при генерации электричества таких машин достигает 35%, что сравнимо со значениями дизельных и газопоршневых машин [5].

В условиях низких температур атмосферного воздуха и высокой скорости ветра достаточное теплоснабжение необходимо как для обеспечения технологического процесса, а именно – подогрева промывочной жидкости, так и для создания комфортных условий труда бригады бурильщиков. Одним из основных параметров теплового режима буровой вышки являются теплотери. Конструкция бурового здания непосредственно влияет на количество тепла, рассеиваемого в окружающую среду. При эксплуатационном бурении применяют вышки высотой 53–54 м

сборно-щитовой и каркасной конструкций. Отличительной чертой производства работ в условиях Крайнего Севера является обшивка буровой вышки по периметру слоем брезента или рубероида. В конструкциях присутствуют технологические отверстия, общая площадь которых обычно составляет около 2 м². Основание вышки выполнено в виде площадки 10х10 м, в передней и задней гранях вышек имеются ворота 10,5–12 м, состоящие из двух полурашков. Ввиду данных структурных особенностей большая часть теплотери в здании буровой будет приходиться на инфильтрацию холодного воздуха через технологические проемы и отверстия, а также на потери теплоты через изолирующие конструкции. Теплотери через отдельные изолирующие конструкции определяются как [2, 4]

$$Q_{\text{оч}} = \sum_{i=1}^n (k_i F_i) (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot n_i \cdot 10^3, \quad (3)$$

где k_i – коэффициент теплопередачи ограждения, кВт/м²·°С;

F_i – площадь отдельных ограждений, м²;

$t_{\text{вн}}$ – температура внутри помещения, °С;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

n_i – поправочный коэффициент к расчетной разности температур.

Потери на инфильтрацию холодного воздуха можно определить по формуле:

$$Q_{\text{ин}} = \sum_{i=1}^n l_i \cdot a \cdot m \cdot c (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + \omega \cdot S \cdot \rho \cdot c (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (4)$$

где l_i – протяженность i -той щели, м;

a – коэффициент, учитывающий время работы с открытыми технологическими проемами в течение смены. Если проемы открыты не более 15 мин. в смену,

величина теплотери определяется как инфильтрация через щели с введением коэффициента $a = 3$ [3];

m – количество воздуха, проникающего через 1 м длины проема, кг/с;

c – теплоемкость воздуха при температуре наружного воздуха, кДж/кг·°С;

ρ – плотность воздуха при температуре наружного воздуха, кг/м³;

ω – скорость потока воздуха, проникающего через технологические проемы, м/с;

S – площадь сечения технологических проемов, м²;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – температура внутреннего и наружного воздуха, °С.

Значительное количество теплоты также требуется для поддержания рабочей температуры бурового раствора. Несоблюдение теплового режима циркуляции может привести к льдообразованию на стенках скважины и появлению ледяных пробок в элементах обвязки. Поэтому необходимо обеспечивать подогрев бурового раствора в буферной емкости с учетом температуры окружающей среды. Необходимая тепловая мощность будет определяться количеством теплотери буферной емкости с раствором. Потери теплоты в буферной емкости можно определить по формуле:

$$Q_{\text{те}} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda (t_{\text{т}} - t_{\text{о}})}{d_i}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала емкости, Вт/м·К;

$t_{\text{т}}$ – температура теплоносителя внутри емкости, °С;

$t_{\text{о}}$ – температура окружающей среды, °С;

d – толщина i -той стенки емкости, м.

С учетом необходимой тепловой мощности для обеспечения функционирования бурового комплекса возможно создание

когенерационного энерготехнологического комплекса на базе микрогазотурбинных электроагрегатов, позволяющего обеспечить энергетические нагрузки потребителя и в то же время снизить себестоимость производства энергии. С учетом вышеизложенного была разработана схема энергоснабжения производственных объектов при кустовом бурении с утилизацией тепла выхлопных газов газотурбинной установки (рис. 2). Система энергоснабжения работает следующим образом. Микрогазотурбинный электроагрегат генерирует электрическую энергию для питания оборудования буровой. Выхлопные газы газовой турбины 1, имеющие высокую температуру, попадают в теплообменник 2 и отдают часть своего температурного потенциала воздуху, циркулирующему в системе воздушного отопления 4 за счет насоса 3. Нагретый воздух, попадая в здание буровой II, посредством конвекторов повышает температуру воздуха в рабочей зоне. Выхлопные газы после теплообменника, все еще имеющие достаточный температурный потенциал, попадают в змеевик 5, находящийся в буферной емкости III для бурового раствора, нагревая рабочий флюид. Рассмотрим возможные теплопотери и потери на инфильтрацию холодного воздуха на примере буровой вышки ВБ-53-320, состоящей из девяти секций, с размерами верхнего основания 2 x 2 м, нижнего – 10 x 10 м. Обшивка рабочей зоны производится изолирующими па-

нелями на высоту 12 м от пола нижнего основания (что соответствует высоте приемных ворот). Для расчета возможных теплопотерь примем следующие значения параметров: температура наружного воздуха –20 °С; при этом температура рабочей зоны для холодных условий должна составлять не менее +10 °С; скорость холодного воздуха, проникающего в рабочую зону, 2 м/с; общая площадь технологических проемов 2 м². При определении теплопотерь емкости с раствором рассмотрим в качестве материала емкости углеродистую сталь (коэффициент теплопроводности 50 Вт/м·К) с толщиной стенки 7 мм. Теплопотери через отдельные изолирующие конструкции (обшивка рабочей зоны), рассчитанные по формуле (3), составляют 40 кВт, потери на инфильтрацию холодного воздуха по формуле (4) – 915 кВт, при расчете по формуле (5) получаем, что для емкости с раствором теплопотери составляют 300 кВт. Таким образом, сумма теплопотерь для буровой вышки и емкости равна 1255 кВт. При этом нужно учитывать необходимость обогрева блока приготовления и очистки бурового раствора, различных технических, подсобных и жилых помещений. В связи с этим количество необходимой тепловой энергии может возрасти в 1,5–2 раза [4]. Суммарная мощность привода бурового оборудования при строительстве скважин малой глубины (до 2000 м) достигает 800 кВт, средней глубины (до 4500 м) –

800–2000 кВт, глубоких и сверхглубоких (свыше 4500 м) – 5000 кВт. Исходя из формул (1) и (2), можно сделать вывод, что на 1 кВт произведенной электроэнергии газопоршневые агрегаты вырабатывают 1,5 кВт тепловой энергии, а газотурбинные установки – 2 кВт. Так, при использовании шести микротурбин фирмы Capstone номинальной мощностью по 200 кВт, работающих на попутном нефтяном газе, генерируется более 1 МВт электроэнергии и более 2 МВт тепловой энергии, что достаточно для обеспечения процесса бурения при кустовом способе разработки месторождения. Таким образом, попутный нефтяной газ может быть эффективно использован для повышения энергоэффективности процессов кустового бурения. Применение микротурбин позволяет создать автономный энерготехнологический комплекс для одновременного обеспечения электрических и тепловых нагрузок потребителей. При этом увеличивается эффективность преобразования первичного энергоносителя, уменьшается себестоимость производства энергии, повышается экологичность производства энергии. Коэффициент полезного действия при использовании электроагрегатов в когенерационном цикле может достигать 90%. Применение автономных когенерационных энергоагрегатов актуально для районов, удаленных от линий централизованного электрообеспечения, при этом имеющих значительную потребность в тепловой энергии.

Литература:

1. Игнатев М. Самоэнергообеспечение становится одной из самых актуальных отраслевых задач // Нефтегазовая вертикаль. – 2004. – № 5. – С. 72–74.
2. Калинин А.Г., Ошкордин О.В., Питерский В.М., Соловьев Н.В. Разведочное бурение: Учебник для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
3. Лимитовский А.М., Марков А.Ю., Меркулов М.В. Электро- и теплоснабжение геолого-разведочных работ. – М.: Недра, 1988.
4. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геолого-разведочных работ: Учебное пособие. – М.: ООО «ИПЦ «Маска», 2008. – 135 с.
5. Пожидаев В.М. Микрогазотурбинные электроагрегаты – новое направление в малой энергетике // Академия энергетики. – 2005. – № 4. – С. 26–33.

References:

1. Ignatyev M. Samojenergoobespechenie stanovitsja odnoj iz samyh aktual'nyh otraslevykh zadach [Self-power supply becomes one of the most urgent industrial tasks]. *Neftegazovaja vertikal' = Oil and gas vertical*, 2004, No. 5. P. 72–74.
2. Kalinin A.G., Oshkordin O.V., Piterский V.M., Solovyev N.V. *Razvedochnoe burenie: Uchebnik dlja vuzov* [Prospecting drilling: Text book for universities]. Moscow, Nedra-Biznestsentr LLC, 2000. 748 pp.
3. Limitovskiy A.M., Markov A.Yu., Merkulov M.V. *Jelektro- i teplosnabzhenie geologorazvedochnykh работ* [Power and heat supply of geologic exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1988.
4. Limitovskiy A.M., Merkulov M.V., Kosyanov V.A. *Jenergoobespechenie tehnologicheskikh potrebitel'ej geologorazvedochnykh работ: Uchebnoe posobie* [Power supply of process consumers of geologic exploration. Manual]. Moscow, IPTs Maska LLC, 2008. 135 pp.
5. Pozhidaev V.M. Mikrogaзoturbinnye jelektroаgregaty – novoe napravlenie v maloj jenergetike [Micro gas turbine power generating units – new line in small energy]. *Akademiya Energetiki = Akademiya jenergetiki*, 2005, No. 4. P. 26–33.