

УДК 621.313

*Арсентьев Олег Васильевич,*  
 к.т.н, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»  
 e-mail: arsent'yevov@rambler.ru  
*Шалашова Юлия Вадимовна,*  
 обучающаяся группы ЭЭ-20-1,  
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»  
*Зайцев Денис Артемович,*  
 обучающийся группы ЭЭ-20-1,  
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

*Arsent'yev O.V., Shalashova Yu. V., Zaitsev D.A.*

## USE OF GAS TURBINE TECHNOLOGIES FOR POWER SUPPLY OF THE OIL AND GAS COMPLEX

**Аннотация.** Рассмотрены особенности электроснабжения предприятий нефтегазового комплекса, конструкция, особенности работы газотурбинных установок, способы организации системы электроснабжения с элементами собственной генерации, разработана автономная энергосистема с организацией звена постоянного тока для обеспечения устойчивой работы параллельно работающих газотурбинных установок.

**Ключевые слова:** электроснабжение, нефтегазовые предприятия, попутный нефтяной газ, газотурбинные установки, преобразователи, системы управления.

**Abstract.** The features of power supply for oil and gas enterprises, the design, features of the operation of gas turbine plants, methods of organizing a power supply system with elements of its own generation are considered, an autonomous power system with the organization of a direct current link has been developed to ensure stable operation of gas turbine units operating in parallel.

**Keywords:** power supply, oil and gas enterprises, associated petroleum gas, gas turbine plants, converters, control systems. Commercial Electricity Accounting System (ASCUE), Reliability, Electricity System.

Предприятия нефтегазового комплекса являются энергоемкими объектами, причем нарушение электроснабжения их может привести к сбоям технологического процесса добычи и транспортировки нефти и газа и, как следствие к значительным экономическим потерям. Затраты на энергоносители в себестоимости продукции для всей вертикали нефтяной промышленности нередко составляют свыше 50 процентов. По мере продвижения нефтегазовых предприятий (НГП) в восточные и северные регионы России обостряется проблема электроснабжения электротехнических комплексов НГП от единой энергетической системы с использованием традиционных схем, предусматривающих наличие независимых источников, подключенных к центру питания НГП посредством несвязанных между собой линий электропитания напряжением 110/35 кВ.

Потребляемая НГП мощность может достигать десятков МВА. Промплощадка НГП размещается на значительной площади

– до нескольких сотен квадратных километров, и более. В составе месторождений может насчитываться значительное количество (сотни) добывающих скважин, расположенных на кустовых площадках, разбросанных по всему месторождению. Число скважин на кустовой площадке может достигать 15-16. Удаление площадок от центра электропитания – до 15-20 км, что в значительной мере определяется рельефом местности, речными преградами, заболоченностью.

Напряжение электропитания погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН) и станков-качалок составляет 380 В, электропитание кустов скважин производится по отдельным линиям 6(10) кВ от центров питания. Межпромысловые линии электропередач (ЛЭП), как правило, не предусматривают трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. В значительные отрезки времени промысловые линии электропередачи всех уровней напряжения являются трудно обслуживаемыми из-за климатических условий.

Технологические установки добычи нефти являются чрезвычайно чувствительными к нарушениям качества электроэнергии. Так, например, кратковременные провалы напряжения длительностью 0,15 с могут привести к нарушению процесса добычи нефти из-за остановки ЭЦН. При большей длительности провала напряжения может произойти прекращение работы установок закачки технологической воды в пласт. Восстановление технологического процесса потребует значительного времени и приведет к потере добычи. Все это приводит к необходимости повышения надежности электроснабжения электротехнических комплексов.

В России исторически сложилась тенденция использования централизованного электроснабжения объектов нефтегазодобывающей промышленности. При этом для обеспечения энергией удаленных месторождений необходимо возводить протяженные линии электропередач, что, особенно в сложных климатических условиях, не способствует качественному энергоснабжению. Основной объем электроэнергии, согласно современной концепции, должен вырабатываться на месте потребления. Одной из основных задач распределенной генерации является повышение эффективности применения местных энергоресурсов посредством использования когенерации и тригенерации, а также уменьшение расхода нефтепродуктов, питающих энергоагрегаты. Помимо этого, развитию автономного электрообеспечения отечественных нефтяных и газовых компаний способствуют современные проблемы централизованных энергетических сетей: высокие расценки подключения к сетевым компаниям, лимитированные возможности традиционных источников при наращивании мощностей, опасности нарушения непрерывности производственных процессов из-за возможных перебоев электроснабжения [1].

Высокий уровень добычи нефти и газа сопровождается их нерациональным использованием, когда производственные предприятия обращают внимание только на товарный продукт или товарный выпуск, тогда как вторичный выпуск, в частности, попутного нефтяного газа, используется неэффективно. Неэффективное использование недр в процессе добычи нефти обусловлено устареванием организационных и технологических процессов и несовершенством экономического анализа. Учитывая, что система электроснабжения является важной частью процесса разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, она оказывает значительное влияние на энергетические и экономические показатели промышленности. В настоящее время, для покрытия потребности в электроэнергии при добыче нефти на месторождениях в отдаленных от центров энергоснабжения районах, начали применять газотурбинные установки (ГТУ), с помощью которых решаются проблемы, как энергоснабжения, так и утилизации попутного нефтяного газа [2].

Попутный нефтяной газ (ПНГ) - это природный углеводородный газ (смесь газов и паров углеводородных и не углеводородных компонентов), растворенный в нефти или находящийся в «шапках» нефтяных и газоконденсатных месторождений. Выделенный ПНГ при наличии специального газопровода доставляется потребителям, а при отсутствии «трубы» сжигается, используется на собственные нужды или перерабатывается. Стоит отметить, что ПНГ отличается от природного газа, состоящего на 70-99% из метана, высоким содержанием тяжелых углеводородов, что и делает его ценным сырьем для нефтехимических производств. Стандартом для нефтяных компаний в развитых странах является утилизация 90-95% добываемого ПНГ, в то время как в России, даже по официальным данным, сжигается не менее 30% этого углеводородного сырья. Недостаточная степень использования попутного нефтяного газа была вызвана отсутствием жестких регулирующих механизмов и незначительными санкциями за загрязнение окружающей среды. Необходимый уровень утилизации нефтяного газа достигает 95 %, в соответствии с постановлениями Правительства Российской Федерации. С 2014 года увеличение штрафов за сжигание попутного нефтяного газа сверх нормы заставляет нефтегазовые компании более тщательно управлять его утилизацией. Более того, к 2025 году повышающий коэффициент штрафных санкций при сжигании более пяти процентов добытого попутного нефтяного газа будет составлять 25. Некоторые отечественные нефтяные компании уже достигли требуемого показателя на определенных месторождениях, но на большинстве нефтяных месторождений вопрос решен не полностью.

На рисунке 1 изображена когенерационная газотурбинная установка. Когенерация – это технология комбинированной выработ-

На рисунке 1 изображена когенерационная газотурбинная установка. Когенерация – это технология комбинированной выработ-

ки энергии, позволяющая резко увеличить экономическую эффективность использования топлива, так как при этом в одном процессе производится два вида энергии – электрическая и тепловая. Наибольший экономический эффект когенерации может быть достигнут только при оптимальном использовании обоих видов энергии на месте их потребления. Основа ГТУ – газовая турбина, устроенная по принципу реактивного самолётного двигателя. Она представляет собой цилиндрическую камеру сгорания, в которой размещено основное рабочее колесо газовой турбины. В камеру поступают воздух и пары топлива под высоким давлением, где они воспламеняются. В процессе сжигания ПНГ образуется поток раскаленных газов, который заставляет турбину вращаться. Она, в свою очередь, передает вращение на компрессор и генератор, обеспечивая, таким образом, выработку электроэнергии.



Рисунок 1 – Схема когенерационной ГТУ

ГТУ имеют несомненные преимущества перед другими способами электрической генерации, в частности, в сравнении с ДВС, как дизельных, так и газопоршневых. Это мощные, высокоманевренные источники электроэнергии, позволяющие в короткие сроки осуществить запуск установки с минимальными затратами энергии. Недостатком таких систем электроснабжения является практическое отсутствие регулирования генерации. По сути, ГТУ работают только в номинальном режиме, определяемом характеристиками турбины. По этой причине целесообразно (и это широко применяется) использовать вместо одной мощной установки, несколько ГТУ меньших мощностей для обеспечения гибкого графика потребления электроэнергии, зависящего от технологиче-

ских циклов на предприятиях нефтегазового комплекса [3].

На рисунке 2 приведена схема электроснабжения нефтегазового предприятия с четырьмя ГТУ, параллельно работающая с сетью от внешней энергетической компании.

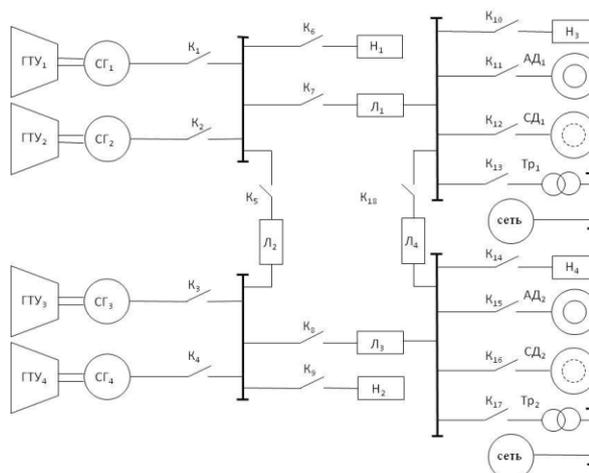


Рисунок 2 – Схема электроснабжения нефтегазового предприятия

На каждую секцию шин работает по две генерирующие системы – ГТУ – синхронный генератор (СГ). Резервирование электроснабжения по генерации осуществляется по линии Л<sub>2</sub> через секционный выключатель К<sub>5</sub>. К шинам генерации через линии электропередач Л<sub>1</sub> и Л<sub>3</sub> подключаются секции шин потребителей. Резервирование электроснабжения потребителей реализуется по линии Л<sub>4</sub>, через секционный выключатель К<sub>18</sub>. В предложенной схеме электроснабжения нефтегазового предприятия собственная генерация (ГТУ) может работать в трех режимах:

- параллельно сетью, когда электроснабжение потребителей одновременно осуществляется от ГТУ и от внешней сети, через понижающие трансформаторы Тр<sub>1</sub> и Тр<sub>2</sub>, выключатели К<sub>1</sub>...К<sub>4</sub>, К<sub>13</sub> и К<sub>17</sub> - замкнуты;
- собственная генерация отсутствует, поступление энергии только от сети внешнего электроснабжения, выключатели К<sub>1</sub>...К<sub>4</sub> – разомкнуты, К<sub>13</sub> и К<sub>17</sub> – замкнуты;
- автономное электроснабжение объектов нефтегазового производства, внешние источники электроэнергии отсутствуют, выключатели К<sub>1</sub>...К<sub>4</sub> – замкнуты, К<sub>13</sub> и К<sub>17</sub> – разомкнуты.

Включение на нагрузку ГТУ, регулирование параметров электроэнергии при работе нескольких установок собственной ге-

нерации имеет особенности, зависящие от режима работы системы электроснабжения.

В соответствии с проведенным анализом схемных решений электроснабжение нефтегазовых потребителей, определено два основных режима работы ГТУ, как генератора электрической энергии:

- совместно с сетью от внешней системы электроснабжения. В этом случае синхронные генераторы станции работают параллельно с сетью, и их устойчивость во многом зависит от параметров сети. Включение разного количества ГТУ на параллельную работу происходит по хорошо известным принципам и правилам;

- автономно, в качестве единственного источника электроснабжения потребителей. В случае одной ГТУ ее работа определяется параметрами нагрузки – мощностью, графиком. Включение на параллельную работу нескольких ГТУ соизмеримой мощности вызывает определенные затруднения, прежде всего связанные с особенностями работы турбины, характеристиками ПНГ, температурой и многих других факторов.

Научные исследования в этом направлении, как в России, так и за рубежом, как правило, рассматривают только один контур регулятора системы автоматического управления: стабилизации частоты вращения свободной турбины. По общему признанию, такого способа регулирования для обеспечения параллельной работы нескольких ГТУ явно недостаточно. Система электроснабжения, построенная по такому принципу, имеет ряд недостатков и ограничений, связанных с устойчивостью работы и качеством электроэнергии для нефтегазовых потребителей.

В качестве альтернативного способа построения системы электроснабжения с несколькими генерирующими источниками на базе ГТУ может быть рекомендована схема со звеном постоянного напряжения (рис. 3).

Автономное электроснабжение осуществляется от двух генерирующих источников – основного (ОЭУ) и вспомогательного (ВЭУ). Выработанная электроэнергия, воз-

можно с разными параметрами, выпрямляется, выравняется с помощью неуправляемого (НУВ) и управляемого, автоматического (АВ) выпрямителей. Преобразованная энергия подается на общую шину постоянного тока (ШПТ), с которой осуществляется потребление. Как вариант, используется инвертор

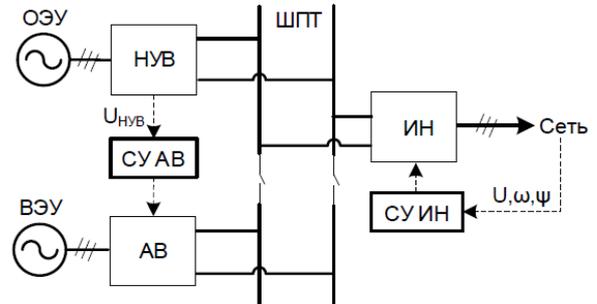


Рисунок 3 – Структурная схема силовой электрической части бинарной генераторной установки

напряжения (ИН) для преобразования постоянного напряжения в переменное напряжение сети потребителей. Такая система работает устойчиво и имеет характеристики стабилизированного источника питания, обеспечиваемыми системами управления выпрямителей (СУ АВ) и инвертора (СУ ИН).

Таким образом, предложенная система автономного электроснабжения объектов нефтегазового комплекса позволяет использовать основные преимущества ГТУ, обеспечивать регулируемую генерацию для устойчивого снабжения электроэнергией потребителей. Кроме того, использование шины постоянного тока позволяет подключать к системе автономного электроснабжения другие источники электроэнергии, в том числе потребляющие возобновляемые ресурсы – ветер, солнце, воду. Надежное электроснабжение, построенное с использованием разного типа генерации, повысит возможности обеспечения бесперебойной работы электроустановок потребителей нефтегазового комплекса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Б.Н. и др. Электроснабжение нефтегазовых предприятий. Учебное пособие / Б. Н. Абрамович, Ю. А. Сычев, ДА. Устинов. Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб. 2008. - 81с.

2. Газовые турбины для добычи нефти и газа на суше. [Электронный ресурс]. [сайт]. [2017]. URL: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbin>