

В. А. Акулов – ЗАО «НПФ «ОРМА»
Б. Л. Барочин – ЗАО «ПК «Энергопром»
С. Ю. Гаврилов – ОАО АК «Якутскэнерго»
А. М. Колесников – ЗАО «Энерготраст»

Новая электростанция предназначена для частичного замещения мощности Якутской ГРЭС (которая выводится из эксплуатации по причине выработки ресурса) и обеспечения растущих потребностей города Якутска в энергии. Расположение станции позволяет совместно с ТЭЦ и ГРЭС замкнуть «кольцо» теплоснабжения города и более равномерно распределить тепловые нагрузки. С появлением нового источника тепла улучшится экологическая ситуация за счет частичного вытеснения действующих котельных.

Якутская ГРЭС-2

– новая электростанция в Восточной Сибири

IN BRIEF

GRES-2, a new CHP plant for Eastern Siberia.

A new power plant was designed for partial replacement of Yakutskaya GRES, gas turbine power plant which is being removed due to the end of its life cycle.

The station will satisfy the growing power requirements in the region.

The commissioning of the power plant will result in the improvement of ecological situation.

История проекта

Два года назад промышленно-инвестиционная компания «Энерготраст» (Москва) совместно с московской проектной компанией «Энергопром» и научно-производственной фирмой «ОРМА» (С.-Петербург) организовали консорциум для реализации ЕРС-контрактов, в частности проектирования, поставок оборудования, строительства объектов электроэнергетики. Лидером консорциума была выбрана компания «Энерготраст».

В 2007 году консорциум выиграл конкурс на проведение расчетно-исследовательской работы «Обоснование инвестиций в строительство Якутской ГРЭС-2». Работа проводилась при непосредственном участии специалистов ОАО АК «Якутскэнерго». В 2008 году в рамках развития данной темы проводился открытый конкурс на разработку проектной документации, где вновь победителем было признано ЗАО «Энерготраст».

В настоящее время группа компаний выполняет разработку проекта и внешних коммуникаций. Генпроектировщиком выступает ПК «Энергопром». В разработке документации участвуют также институты «ВостСибЭнергосетьпроект», «ЯкутТИСИЗ», «Якутсктеплогазпроект».

Перспективы развития Центрального энергорайона Республики Саха (Якутия)

Центральный энергорайон республики является изолированным. Основное энергоснабжение обеспечивает Якутская ГРЭС (далее ЯГРЭС), построенная более 35 лет назад. После замены первоначально установленных ГТУ производства ЛМЗ турбинами ОАО «Турбоатом» (г. Харьков) на станции в настоящее время эксплуатируются четыре ГТЭ-35 и четыре ГТЭ-45. Нарботка газотурбинных установок ЯГРЭС по состоянию на 1 ноября 2008 г. приведена в табл. 1.

Актуальность строительства новой станции обусловлена снижением надежности и выработкой ресурса Якутской ГРЭС. Так, технологическое нарушение, случившееся 9 ноября этого года, привело к отключению ГТУ № 4 мощностью 45 МВт.

Прогноз развития Якутска и прилегающих районов требует срочного создания надежной, высокоэффективной электростанции. Многолетний опыт эксплуатации в Якутске газотурбинной ТЭЦ (условно называемой ГРЭС) свидетельствует об оптимальности варианта с газотурбинными установками, работающими в когенерационном цикле (с утилизацией тепла отходящих газов ГТУ в водогрейных котлах-утилизаторах).

Табл. 1. Нарботка газотурбинных установок ЯГРЭС по состоянию на 1 ноября 2008 г.

№ ГТУ	Год ввода в эксплуатацию	Заводской ресурс, ч	Продленный ресурс, ч	Фактическая наработка, ч	Примечание
1	1990	110000	150000	124 628	Первая очередь станции
2	1996	110000	–	91 839	
3	2002	110000	–	36 632	
4	2004	110000	–	27 998	
5	1976	100000	180000	182 355	Вторая очередь станции
6	1977	100000	180000	178 544	
7	1981	100000	150000	127 937	
8	1985	100000	150000	127 150	

Номинальная мощность проектируемой ГТЭС составляет 300 МВт. Перспективный баланс мощностей по городу и Центральному энергорайону представлен в *табл. 2*.

Предполагается, что в период между 2010 - 2015 гг. в два этапа будут введены два пусковых комплекса новой газотурбинной электростанции с установкой двух ГТУ по 75 МВт (2x75 МВт + 2x75 МВт). В этот же период будут демонтированы две ГТЭ-35 на ЯГРЭС в связи с выработкой максимально допустимого моторесурса. В результате к 2015 году появится избыток располагаемой мощности относительно максимального (с учетом резервирования) потребления в количестве 38 МВт.

В период с 2015 по 2020 гг. должны быть выведены из эксплуатации еще две ГТЭ-35 (на ЯГРЭС), что приведет, с учетом прогнозируемого роста потребления, к дефициту мощности в 96 МВт.

Однако к 2013 году планируется объединение Центрального и Южно-Якутского энергорайонов, что позволит покрывать дефицит или передавать избытки электроэнергии через сети ОЭС Востока.

Основные технические решения при выборе площадки для ЯГРЭС-2

В процессе разработки проекта рассматривались четыре варианта площадок для строительства электростанции (*рис.*).

Место строительства ЯГРЭС-2 выбрано на западной границе г. Якутска в районе пересечения с Вилюйским трактом, на плоской возвышенности – примерно на 100 м выше уровня городской застройки. Чтобы компенсировать перепад высоты между площадкой станции и потребителями, схема выдачи тепловой мощности ГТЭС проектируется двухконтурной.

На дополнительной площадке, на уровне городской застройки, находятся сетевая насосная станция, теплообменное и насосное оборудование первого контура. Важно отметить, что расположение энергоисточника на отдельной площадке увеличивает надежность всей системы энергоснабжения в целом.

Преимущества расположения выбранной площадки:

- существенно меньшая протяженность магистрального теплопровода и возможность замкнуть теплофикационное «кольцо» города;
- три линии 110 кВ расположены в непосредственной близости, что позволит сократить затраты на строительство сетей для выдачи электрической мощности;
- протяженность газопровода от границы станции до точки подключения к распределительному устройству не превышает 3 км;



Рис. Варианты расположения площадок Якутской ГРЭС-2
 1 – варианты расположения площадок;
 — существующие сети теплоснабжения;
 — проектируемые сети теплоснабжения

Табл. 2. Баланс мощности и электроэнергии Центрального энергорайона до 2020 года

Баланс мощности, МВт	2007 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
I. Потребление				
Максимум нагрузки	293	340,2	532,5	593,3
Резерв мощности (22%)	64	75	117	131
<i>Итого, потребление</i>	<i>357</i>	<i>415</i>	<i>650</i>	<i>724</i>
II. Покрытие				
<i>Установленная мощность на конец года, в т. ч.:</i>				
Якутская ГРЭС	320	320	250	180
Якутская ТЭЦ	12	12	12	12
Центральная электростанция	55	55	55	55
Якутская ГРЭС-2	0	0	300	300
<i>Ввод мощности, в т.ч.:</i>				
Якутская ГРЭС-2/Якутская ТЭЦ	0	0	306	0
<i>Вывод мощности, в т.ч.:</i>				
Якутская ГРЭС/Якутская ТЭЦ	0	0	76	70
<i>Располагаемая мощность, в т.ч.:</i>				
Якутская ГРЭС	476	476	688	628
Якутская ТЭЦ	420	420	338	256
Центральная электростанция	12	12	12	12
Якутская ГРЭС-2	44	44	0	0
			360	360
Итого, покрытие	476	476	688	628
Баланс: избыток (+), дефицит (-)	+119	+61	+38	-96
Баланс электроэнергии, млн кВт-ч				
<i>Электропотребление</i>	<i>1503</i>	<i>1735</i>	<i>2701</i>	<i>3038</i>
<i>Выработка электроэнергии, в т. ч.:</i>				
Якутская ГРЭС	1503	1640	3080	2660
Якутская ТЭЦ	1423	1560	1370	950
Центральная электростанция	51	60	60	60
Якутская ГРЭС-2	29	20	0	0
	0	0	1650	1650
Итого по энергосистеме: избыток (+), дефицит (-)	0	0	+379	-378

- жилая застройка отсутствует на расстоянии свыше 1 км от границ площадки.

К недостаткам выбранной площадки следует отнести такие факторы: дополнительные затраты на насосное и теплообменное оборудование в связи с расположением станции на возвышенности, устройство артезианских скважин для обеспечения водоснабжения, а также необходимость создания системы очистки стоков.

Основные технические решения новой станции выбирались из четырех вариантов основного оборудования. На основании расчетов, проведенных по методикам РАО ЕЭС, оценки эксплуатационных затрат, а также с учетом требований высокой надежности оборудования была определена технологическая схема станции. Она включает четыре энергоблока на базе MS6001FA компании GE Energy и подогреватели сетевой воды (ПСВ). Общая установленная электрическая мощность станции (согласно ISO) – 303,6 МВт (75,9x4), тепловая – 368 Гкал/ч (92x4).

При определении технико-экономических показателей рекомендованы режимы, обеспе-

чивающие максимальную эффективность работы Центрального энергорайона:

- все ГТУ на ЯГРЭС-2 работают в базовом режиме;
- электрическая мощность при нагрузках, превышающих возможности ЯГРЭС-2, вырабатывается на ЯГРЭС;
- в зимний период максимальная суммарная электрическая нагрузка Центрального энергорайона в течение рабочего дня обеих ГРЭС (в перспективе на 2020 г.) составит 593 МВт, из которых 60 % мощности обеспечит ЯГРЭС-2, остальную – ЯГРЭС;
- ЯГРЭС-2 в зимний период практически постоянно должна быть загружена на 100 %. При этом отпуск тепла составит до 420 Гкал/ч, т.е. до 25 % общегородской потребности в тепловой энергии;
- в летний период максимальная электрическая нагрузка Центрального района в течение рабочего дня обеих ГРЭС (в перспективе на 2020 г.) составит 375 МВт. До 80 % мощности будет обеспечивать ЯГРЭС-2, остальную – ЯГРЭС;
- в ночное время максимальная электрическая нагрузка района составит 175 МВт, в которой доля ЯГРЭС-2 – 150 МВт при отборе тепла 116,5 Гкал/ч (полное обеспечение города в тепле).

Удельный расход топлива на выработку тепловой энергии принят 155 кг у.т./Гкал. Годовая выработка электроэнергии определена с учетом работы части блоков ГТУ по простому циклу в летний период. Принято, что 1 доллар эквивалентен 26 рублям.

Основные технико-экономические показатели ЯГРЭС-2 приведены в табл. 3.

Газотурбинный агрегат GE MS6001FA

Газовая турбина MS6001FA является среднеразмерным представителем семейства двигателей Frame (тяжелых) компании GE и представляет собой уменьшенную на 30 % аэродинамическую копию хорошо зарекомендовавшей себя установки 7FA (фото).

В двигателе применен 18-ступенчатый осевой компрессор с регулируемым ВНА. Первые две ступени спроектированы для работы с околосвуковой скоростью потока. Степень сжатия – 14,5. Сухая малоэмиссионная камера сгорания рассчитана на работу в двухтопливном режиме. Осевая турбина – трехступенчатая, с охлаждаемыми сопловыми аппаратами всех ступеней, а также первых двух ступеней рабочих колес.

Сопловые аппараты первой ступени отлиты из сплава FSX414, второй и третьей ступени – из GTD-222. Монокристаллические лопатки

Табл. 3. Основные технико-экономические показатели ЯГРЭС-2

Наименование	Значение
Число x тип ГТУ	4xMS6001FA
Электрическая мощность ГТУ, (ISO), МВт	75,9
Суммарная электрическая мощность станции (ISO), МВт	303,6
КПД ГТУ (ISO), %	35,0
Макс. электрическая мощность одной ГТУ (при t=-54 °С), МВт	89,8
Суммарная максимальная электр. мощность станции (при t=-54 °С), МВт	359,2
Время использования среднегодовой электрической мощности, ч	7407
Топливо:	
- основное	природный газ
- аварийное	жидкое
Максимальный часовой расход топлива на все ГТУ, кг у.т./ч (при t=-54 °С)	84023,4
Годовой расход топлива на все ГТУ, т у.т./год	886,0x10 ³
Часовой отпуск тепла:	
- зима, при t=-20,6 °С, Гкал/ч	420,0
- лето, при t=+15 °С, Гкал/ч	116,5
Годовая выработка электроэнергии, кВт·ч/год	2524,3x10 ⁶
Годовой отпуск электроэнергии, кВт·ч/год	2473,9x10 ⁶
Годовой отпуск тепла, тыс. Гкал/год	2688,7
Удельный расход топлива на выработку:	
- электроэнергии, г у.т./кВт·ч	185,9
- тепла, кг у.т./Гкал	155
Среднегодовой КИТ, %	78
Капитальные вложения (без учета индексов-дефляторов и НДС), млн рублей	10649,2
Удельные капитальные вложения (без учета индексов-дефляторов и НДС), \$/кВт	1591,9
Капитальные вложения (с учетом индексов-дефляторов и НДС), млн рублей	16054,5
Удельные капитальные вложения, \$/кВт	2033,9

первой ступени, изготовленные из сплава GTD-111, имеют проникающее охлаждение. Две последние ступени оснащены бандажными полками.

Раскрутка двигателя осуществляется электрическим мотором. Сегментные опорные радиальные и упорные подшипники обеспечивают стабильность ротора и распределение нагрузки. Система управления, выполненная на основе микропроцессора GE Speedtronic™ Mark VI, имеет распределенную и дублирующую структуру.

MS6001FA хорошо подходит для работы в комбинированном цикле. Двигатель может работать как на газообразном, так и на жидком топливе. Суммарная наработка более 90 поставленных установок серии 6FA насчитывает свыше 2 млн часов. Наряду с высокой надежностью агрегат обеспечивает жесткие требования по уровню эмиссии. При работе на газообразном топливе с низкоэмиссионной системой горения DLN содержание оксидов азота NO_x в выхлопных газах составляет не более 15 ppm (30 мг/м³).

Основные показатели установки по состоянию на 2008 год несколько отличаются от расчетных значений, в частности по мощности и КПД (табл. 4).

Подогреватели сетевой воды

При эксплуатации на Якутской ГРЭС установок ГТ-25-700, а позднее ГТЭ-35 и ГТЭ-45, для утилизации тепла были применены подогреватели сетевой воды ПСВ-2, разработанные специалистами ЛМЗ. Эти агрегаты на протяжении более чем 30 лет эксплуатации в условиях Крайнего Севера показали высокую надежность и эффективность. Поэтому при разработке концепции ЯГРЭС-2 в основу схемы утилизации тепла отходящих газов по требованию заказчика положены технические решения, опирающиеся на конструктивное исполнение ПСВ-2.

Табл. 4. Основные характеристики MS6001FA

Характеристики	Величина
Номинальная мощность (ISO), МВт	77,1
Расход топлива на номинальном режиме, кг/ч	15620
КПД привода, %	35,5
Степень повышения давления	15,8
Расход рабочего тела через двигатель, кг/с	215
Частота вращения силового вала, об/мин	5231
Температура на выходе из двигателя, °С	597
Содержание NO_x (15% O_2), мг/м³	30
Содержание тепла в отходящих газах, Гкал/ч	115,4



Фото. Газовая турбина MS6001FA является среднеразмерным представителем семейства двигателей Frame компании GE

Промышленно-инвестиционная компания «Энерготраст», учрежденная в 1993 г., создавалась для внедрения новых технологий на электростанциях и в энергосистемах, входящих в «Центр-энерго». Компания выступает в качестве генподрядчика по реализации сложных технических проектов, связанных с реконструкцией или модернизацией действующего оборудования.

Среди основных проектов в качестве генподрядчика – реконструкция установки синтез-газа на заводе минеральных удобрений «Акрон», замена паропроводов на ТЭЦ Невинномысского ПО «Азот», реконструкция учебной ТЭЦ МЭИ (о проекте будет рассказано в следующем номере). Компания выступала субподрядчиком в строительстве ТЭЦ-27, блок 450 МВт (маслосистема турбин, трубопроводы обвязки паровых котлов и турбины), в настоящее время участвует в создании ТЭЦ-26 Мосэнерго, блок 420 МВт (циркосистема, трубопроводы высокого давления обвязки парового котла и турбины).

ЗАО «ПК «Энергопром» основано в 2004 г. на базе группы специалистов из московского отделения ВНИПИэнергопрома как компания по проектированию энергоисточников различной мощности, включая и мощные генерирующие объекты. За это время были разработаны проекты более 40 объектов энергетики – ТЭС, ТЭЦ, ГТУ-ТЭЦ, ПГУ-ТЭЦ, котельных, тепловых пунктов, а также тепловых сетей в России, странах СНГ и за рубежом. Проектировались объекты с использованием практически всех видов топлива, а также с использованием тепла геотермальных вод и энергии приливов. Технические решения базируются как на зарубежном, так и на отечественном основном и вспомогательном оборудовании.

ЗАО «НПФ «ОРМА», созданное в 1993 г., занималось вначале разработкой и изготовлением теплообменного оборудования для ГТУ, дизельных и газопоршневых двигателей. Затем сфера деятельности была расширена: фирма осуществляет модернизацию и изготовление узлов ГТУ и вспомогательного оборудования, а также поставку запасных частей для газовых турбин, произведенных Невским заводом им. Ленина (НЗЛ) в 1970-х гг. С 2007 года, после ввода в строй новых производственных мощностей, фирма выполняет капитальный ремонт и модернизацию в заводских условиях роторов газовых турбин серии FM и LM компании GE и газотурбинных агрегатов ГТК-10-4.

Расчетно-проектная проработка, выполненная специалистами ЗАО «ОРМА», показала, что новые подогреватели сетевой воды могут быть секционного типа. Каждые четыре секции включаются последовательно по газу и воде. Они собраны в четырех отсеках и размещаются в двух корпусах. Схема течения теплоносителя – перекрестно-противоточная. Поверхность нагрева образована вертикально расположенными в шахматном порядке трубами диаметром 32 мм и толщиной стенки 2,5 мм с поперечным оребрением из спиральной приварной ленты.

Концы труб развальцованы и дополнительно обварены в трубных досках. Крышки, образующие водяные камеры, крепятся к трубным доскам фланцами. Сетевая вода подводится и отводится через верхние водяные камеры первой и последней секции каждого отсека.

Подогреватели сетевой воды рассчитаны на работу с внутренним давлением до 2,5 МПа при температуре отходящих газов до 630 °С и их расходе 900×10^3 кг/ч.

Экология и защита окружающей среды

На ЯГРЭС-2 предусматривается установка четырех ГТУ с подогревателями сетевой воды и дымовыми трубами высотой 60 метров.

При работе газотурбинных установок основным загрязняющим веществом, выбрасываемым в атмосферу, является диоксид азота – NO_2 . Максимальные приземные концентрации диоксида азота от ЯГРЭС-2 не превышают 40 % предельно допустимой концентрации (ПДК) на любом расстоянии от станции при максимальной нагрузке ГТУ. Поскольку максимальная концентрация диоксида азота от ЯГРЭС-2 меньше ПДК, то дополнительное оборудование по снижению NO_x не устанавливается.

Проектом предусматривается комплекс мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов и предотвращению загрязнения водных объектов. Разработаны отдельные схемы сбора, очистки, утилизации и отведения сточных вод, образующихся в результате производственной деятельности.

Предусмотренных мероприятий по снижению шумового воздействия достаточно для того, чтобы на ближайшей границе жилой застройки соблюдались нормативно установленные уровни звукового давления.

После ввода двух энергоблоков в простом цикле ЯГРЭС-2 уже с 2012 года полностью обеспечит растущие потребности города в электрической энергии. Расположение станции позволит совместно с ТЭЦ и ЯГРЭС замкнуть «кольцо» теплоснабжения города и обеспечить более равномерное распределение тепловых нагрузок. ■



Крупнейшая в СНГ поршневая электростанция построена в г. Сангачал (Азербайджан).

Для реализации проекта компания Wartsila поставила 18 двухтопливных энергоблоков 50DF суммарной мощностью 300 МВт. Заказчик проекта – ОАО «Азербэнеджи».

Энергоблок 50DF мощностью 16,63 МВт и КПД 47,3 % создан компанией Wartsila на базе двухтопливного двигателя 18V50DF. Привод имеет 18 цилиндров V-образного расположения.

Основное энергетическое оборудование размещается в двух типовых быстровозводимых зданиях. Это существенно сократило сроки строительства. В каждом здании установлено по 9 энергоблоков. Подстанция с выходным напряжением 110 кВ, состоящая из 6 трансформаторов мощностью по 63 МВА, служит для передачи производимой электроэнергии в национальную сеть.

Электростанция простого цикла полностью обеспечит растущие потребности в электроэнергии г. Баку и Апшеронского полуострова. Основным топливом является магистральный природный газ, резервным – мазут. Возможен переход с одного вида топлива на другой во время работы двигателя.

The biggest dual-fuel power plant in CIS countries was commissioned in Sangachal (Azerbaijan).

For the project Wartsila delivered 18 dual-fuel 50DF power units with the total capacity of 300 MW. The customer for the project is AzerEnergy JSC.

50DF power unit rated at 16.63 MW with the efficiency 47.3 % was designed on the base of Wartsila 18V50DF dual-fuel engine. The main power equipment is installed in two buildings, each equipped with 9 power units. The substation with output voltage 110 kV consisting of 6 transformers rated at 63 MVA delivers the electric power to the national grid. The primary fuel is natural gas, standby fuel is black oil.

Обеспечено резервное электропитание служб связи космодрома Байконур.

Компания «Эконика-Техно» поставила для проекта три дизельные энергоустановки производства ET-Generators. Два энергоблока GP-250A/V мощностью по 200 кВт созданы на базе двигателя Volvo Penta TAD 734 GE. Они находятся в состоянии холодного резерва, синхронизированы между собой и запускаются вручную.

Энергоустановка GP-60A/J мощностью 48 кВт на базе двигателя John Deere 4039 TF 008 запускается автоматически при пропадании сети. Оборудование размещено на открытой площадке в контейнерах «Север М2». ДЭС обеспечивают резервное электропитание служб связи космодрома. Заказчик – Байконурский филиал ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс».