
Capstone Microturbine

Подготовка места установки



Содержание

Введение	3
Подача воздуха	5
<i>Вопросы для детального изучения</i>	5
Подача топлива	6
<i>Вопросы для детального изучения</i>	7
Подключение к электрической сети	8
<i>Вопросы для детального изучения</i>	8
<i>Выходная мощность</i>	10
Подключение выхлопного тракта	11
<i>Вопросы для детального изучения</i>	11
Габариты, вес, сервисные зоны	12
<i>Модель С30</i>	12
<i>Модель С60</i>	14
Экология	18

Введение

Микротурбинные генераторы выпускаются в виде компактных модулей с выходной электрической мощностью 30 и 60 кВт. Потребность в большей мощности реализуется путем установки нескольких МТ (до 100 модулей или до 6 МВт суммарной мощности) и объединение их с помощью общей системы управления, что позволяет обеспечить синхронизацию работы модулей в составе единой энергосистемы. Главные преимущества такого подхода состоят в наращивании мощности энергосистемы по мере роста нагрузки, гибком регулировании производства энергии, учитывающем суточные и сезонные колебания потребностей, отсутствием необходимости создания избыточных резервов (на случай профилактических остановок и аварий).

Гибкость по отношению к различным видам топлива означает возможность использования различных видов газообразного (природный, попутный нефтяной, биологический, свалочный газы, сжиженный пропан, шахтный метан) или жидкого (дизель, керосин) углеводородного сырья, в том числе с низкой теплотворной способностью и содержанием серы до 7%.

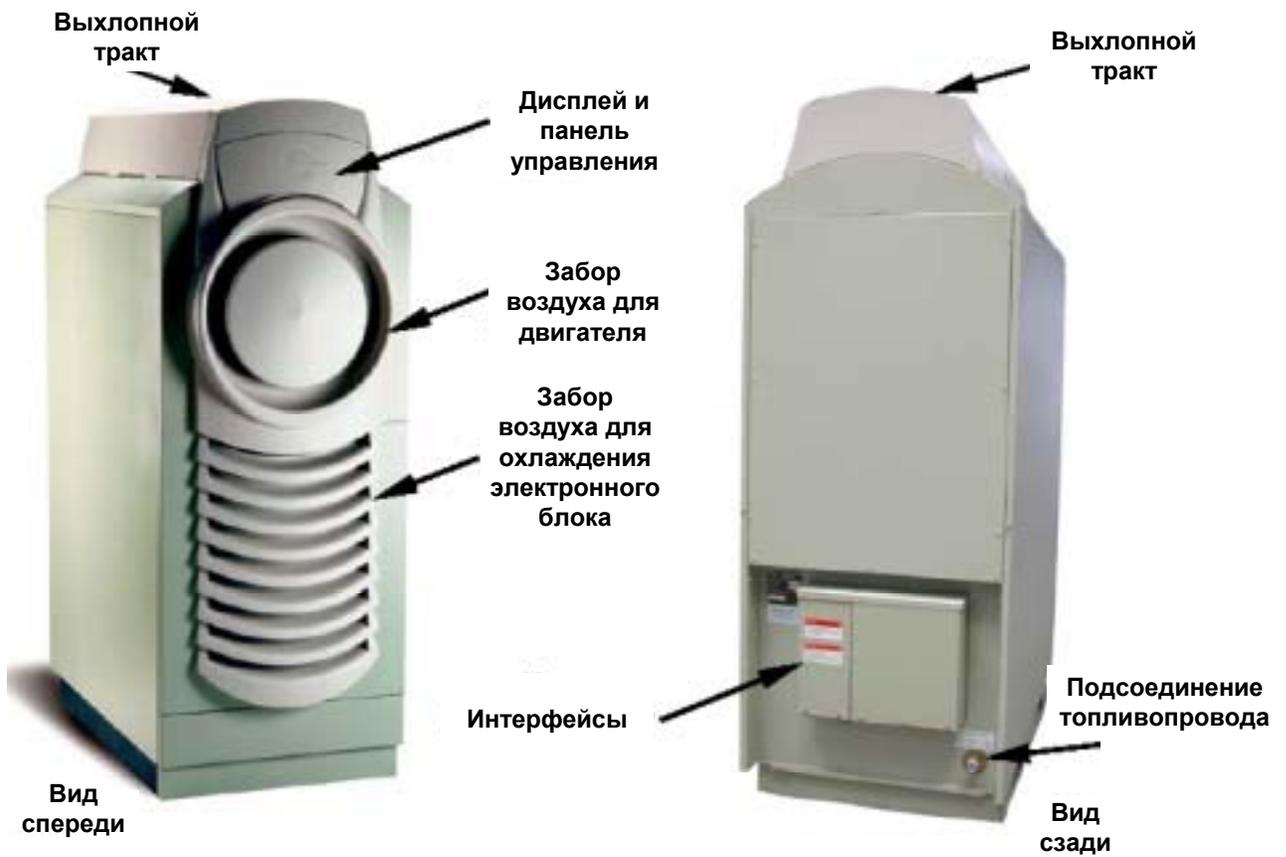
Микротурбины поставляются в влагозащищенном корпусе, что, при полном отсутствии вибрации и низком уровне шума позволяет устанавливать их на открытых площадках или внутри существующих помещений. Другим вариантом поставки является установка МТ без кожуха внутри модульных контейнеров.

Выхлоп микротурбин является экологически чистым, что подтверждается сертификатами соответствия, в том числе наиболее строгими Калифорнийскими (эмиссия NO_x (оксиды азота) < 0.2 кг на МВт/час, СО (угарный газ) < 1.3 кг на, другие летучие органические соединения < 0.4 кг). Благодаря тому, что выхлоп одной микротурбины содержит до 120 кВт тепловой энергии (модель С60), возможно сопряжение МТ с теплообменниками и климатическими системами, используемыми для нагрева воды, отопления (кондиционирования) помещений, сушки продукции. При этом производительность такой когенерационной системы может достигать 96% при одновременном снижении приведенной стоимости одного кВт/часа электроэнергии до уровня 30-35 коп (с учетом стоимости оборудования и обслуживания МТ, а также расходов на природный газ).

Подключение микротурбины производится в двух режимах – параллельно с сетью и тогда МТ играет роль основного или дополнительного источника тока, автоматически настраивающегося на параметры сети по напряжению (360 - 520 В трехфазное) и частоте (45 – 65 Гц) или автономное. При автономном подключении МТ играет роль источника напряжения, и вырабатывает необходимое ток в количестве необходимом для поддержания заданного напряжения (360 - 520 В трехфазное). МТ снабжена аккумуляторными батареями, которые позволяют производить запуск генератора и являются буфером для сглаживания колебаний потребления нагрузки. С помощью дополнительного контроллера возможно построение схемы автоматического переключения режимов работы МТ для обеспечения гарантированного энергоснабжения объектов.

Регламент обслуживания микротурбин предполагает долговременную эксплуатацию в постоянно включенном режиме работы или в режиме периодического включения/выключения. Общий ресурс работы до капитального ремонта двигателя составляет 60000 часов. При этом каждые 16000 часов необходимо менять воздушный и топливный фильтры, инжекторы, свечу зажигания и термопару. Микротурбина не требует охлаждающих жидкостей, смазывающих масел или других химически опасных расходных материалов для своей работы. Управление работой МТ производится с встроеного пульта ли удаленно с диспетчерского компьютера.

Исполнение в «стандартном» корпусе для модели С30:



Исполнение в «индустриальном» корпусе для моделей С30 и С60:



Подача воздуха

Процесс производства электроэнергии турбогенератором сопровождается выделением тепла микротурбинным двигателем и электронным блоком. Чем больше энергии производит МТ, тем больше тепла выделяет электронный блок. МТ производит тем больше электроэнергии, чем холоднее воздух, подаваемый на вход воздушного компрессора микротурбины. Более холодный воздух также защищает электронику МТ от перегрева. Кроме того, турбогенератор не использует никакой другой жидкости или газа для смазки и охлаждения своих частей, кроме воздуха, забираемого из окружающей среды.

При организации подачи воздуха необходимо учитывать два основных фактора: объем и температурный баланс (разница температур воздуха, поступающего в двигатель и на охлаждение электроники):

Фактор	С30	С60
Воздух в двигатель (для формирования топливной смеси)	17 м ³ /мин	25.5 м ³ /мин
Воздух в электронный блок	27.5 м ³ /мин	25.5 м ³ /мин
Площадь воздухозаборников	2 x 0.13 м ²	2 x 0.13 м ²
Температура подаваемого воздуха	-20 ⁰ С ... +50 ⁰ С	-20 ⁰ С ... +50 ⁰ С
Тепло, выделяемое МТ в результате охлаждения электронного блока	4 кВт	5 кВт

Вопросы для детального изучения

- Разница температур воздуха, подаваемого в двигатель для формирования топливной смеси и охлаждения электроники не должна превышать 2⁰С;
- В случае использования коробов для подачи воздуха к МТ, установленной внутри помещения, не рекомендуется использовать один короб для двигателя и электроники – наилучшим решением является разделения трактов до места забора воздуха из свободной окружающей среды. При этом перепад давления в тракте не должен превышать 20 мм/рт.ст. для С30 и 90 мм/рт.ст. для С60;
- Воздух может поступать изнутри помещения без организации заборных коробов (рекомендуется для мест установки, температура воздуха в которых близка или превышает установленные граничные значения).
- Если МТ установлены в закрытом помещении, следует учитывать следующие рекомендации:
 - Наилучшее место для подачи воздуха на охлаждение электроники – нижняя часть фронтальной панели корпуса МТ. Это способствует выталкиванию горячего воздуха вверх и предотвращает скопление горячего воздуха внутри корпуса в области размещения электронного блока;
 - В случае использования вентиляции для охлаждения помещения с МТ лучшим решением является принудительная вытяжная вентиляция (вместо принудительного засасывания);

- Воздухозаборники с соотношением длины к диаметру (L/D) более 8 обеспечивают низкую акустическую эмиссию и требуемый уровень перепада давления.

Подача топлива

Турбогенератор работает на газообразном или жидком углеводородном топливе. Главная задача при этом – подача чистого (отсутствие твердых частиц), сухого (отсутствие капельной жидкости, в том числе и тяжелых углеводородов) газа с температурой выше точки росы и требуемым давлением на вход топливопровода МТ. Жидкое топливо (дизель или керосин) должно быть очищено от механических примесей и подано под определенным давлением. Базовые параметры по расходу топлива представлены в нижеследующей таблице:

Фактор	C30	C60
<i>Газ (на примере природного магистрального)</i>		
Расход	11.5 м ³ /час	22.2 м ³ /час
Температура топлива	+10 ⁰ С от точки росы ... +50 ⁰ С	+10 ⁰ С от точки росы ... +50 ⁰ С
Давление (низкое)*	0.01 ... 1 кг/см ²	-
Давление (высокое)	3.8 ... 4.5 кг/см ²	5.5 ... 6 кг/см ²
<i>Жидкое топливо</i>		
Расход	11.3 л/час	-
Температура топлива	-20 ⁰ С ... +50 ⁰ С	-
Давление	1 кг/см ²	-

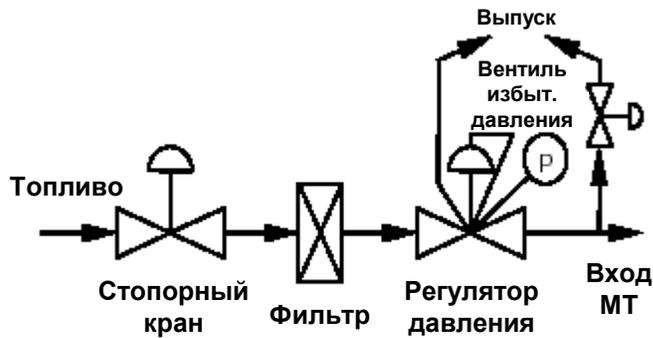
* Для работы на газе низкого давления модель турбогенератора С30 может комплектоваться встроенным дожимным компрессором. Модель С60 также может работать на газе низкого давления в случае установки внешнего компрессора. При установке кластеров МТ возможно использование одного внешнего компрессора на несколько модулей МТ.

Газ подается в МТ по впускной трубе диаметром 3/4 дюйма. Перед входом в МТ на подводящем трубопроводе должны быть установлены ручной стопорный кран, фильтр, клапан избыточного давления (продувочная свеча) и регулятор давления. В качестве такого комплекта можно использовать External Fuel Kit от Capstone или воспользоваться аналогичным оборудованием, доступным на локальном рынке.

Источник газообразного топлива должен поддерживать подачу топлива без потери давления максимум 17.5 м³/час в расчете на одну микротурбину С30 и 36 м³/час – на С60 (пиковое потребление, возникающее в период «холодного»



старта МТ, которое длится 2 минуты).



Вопросы для детального изучения

- Диаметр подводящего топливопровода рассчитывается исходя из длины и возможного перепада давления. Давление, указанное выше в таблице должно обеспечиваться на входе в МТ на весь период работы;
- Рекомендуется устанавливать регулятор давления на каждый модуль МТ. Особенно это необходимо для кластерных конфигураций и подключения нескольких МТ к одному топливопроводу;
- Рекомендуется устанавливать перед самым входом в каждый модуль МТ внешний топливный фильтр. Для топлива с повышенным содержанием сероводорода (биогаз или попутный нефтяной газ) необходимо устанавливать специальный комплект, состоящий из фильтра и регулятора, компоненты которых выполнены из нержавеющей стали;
- Регулятор давления должен иметь перепад давления по крайней мере 1 кг/см^2 для обеспечения контроля за колебаниями давления топлива в магистрали. Это требование особенно актуально в случае использования газов с низкой теплотворной способностью, которые необходимо подавать под более высоким давлением;
- Система подачи газа с высоким содержанием влаги (например, биогаз) должен включать сепаратор жидкости, установленный сразу за компрессором и адсорбционный холодильник для приведения газа в состояние, соответствующее спецификациям Capstone: содержание водяного пара не более 5% и температура газа на $+10^{\circ}\text{C}$ выше точки росы на входе в МТ;
- Использование существующих топливопроводов на объекте возможно после проведения их испытаний на давление газа, соответствующее рабочему давлению для МТ+50% и при условии соблюдения требований регулирующих организаций;
- Медь и латунь не должны использоваться при работе на газе с повышенным содержанием сероводорода.
- При прокладке подводящего топливопровода необходимо предусмотреть возможность удаления конденсата из труб в местах его возможного образования.

Подключение к электрической сети

Турбогенератор может работать параллельно с сетью или полностью автономно, а также автоматически переключаться между этими режимами. При подключении к сети необходимо учитывать следующие основные параметры:

Фактор	C30	C60
Выходное напряжение, макс.	3 фазы 528В переменного тока	3 фазы 528В переменного тока
Максимальный ток (стабильно)	46А на фазу	100А на фазу
Максимальный ток (перегрузка в течение 10 сек)	54А	120А
Выходная мощность (при 0.4КВ)	38.2 КВА	80 КВА
Частота (параллельно с сетью), Гц	45 ... 65	45 ... 65
Частота (автономный режим), Гц	10 ... 65	10 ... 65

Вопросы для детального изучения

- В случае если напряжение сети отличается от 0.4 КВ или импеданс достаточно высок, чтобы вызвать увеличение напряжения выше 480ВА при номинальном значении тока, следует использовать трансформатор мощности. Его параметры должны соответствовать: не менее 45 КВА для C30 и 90 КВА для C60;
- Для автоматического переключения режимов допускается использование контроллеров Capstone DMC и ATS или аналогичного оборудования, доступного на локальном рынке;
- **В автономном режиме** работы подключение нагрузки допускается в различных комбинациях фаза-фаза или фаза-нейтраль при условии соблюдения максимально допустимых уровней тока и напряжения для конкретной модели МТ. В автономном режиме нейтраль должна быть заземлена по правилам, аналогичным для режима работы параллельно с сетью. Выходное напряжение фаза-фаза может быть установлено в диапазоне 150 – 480 VAC при частоте 10 – 60 Гц.

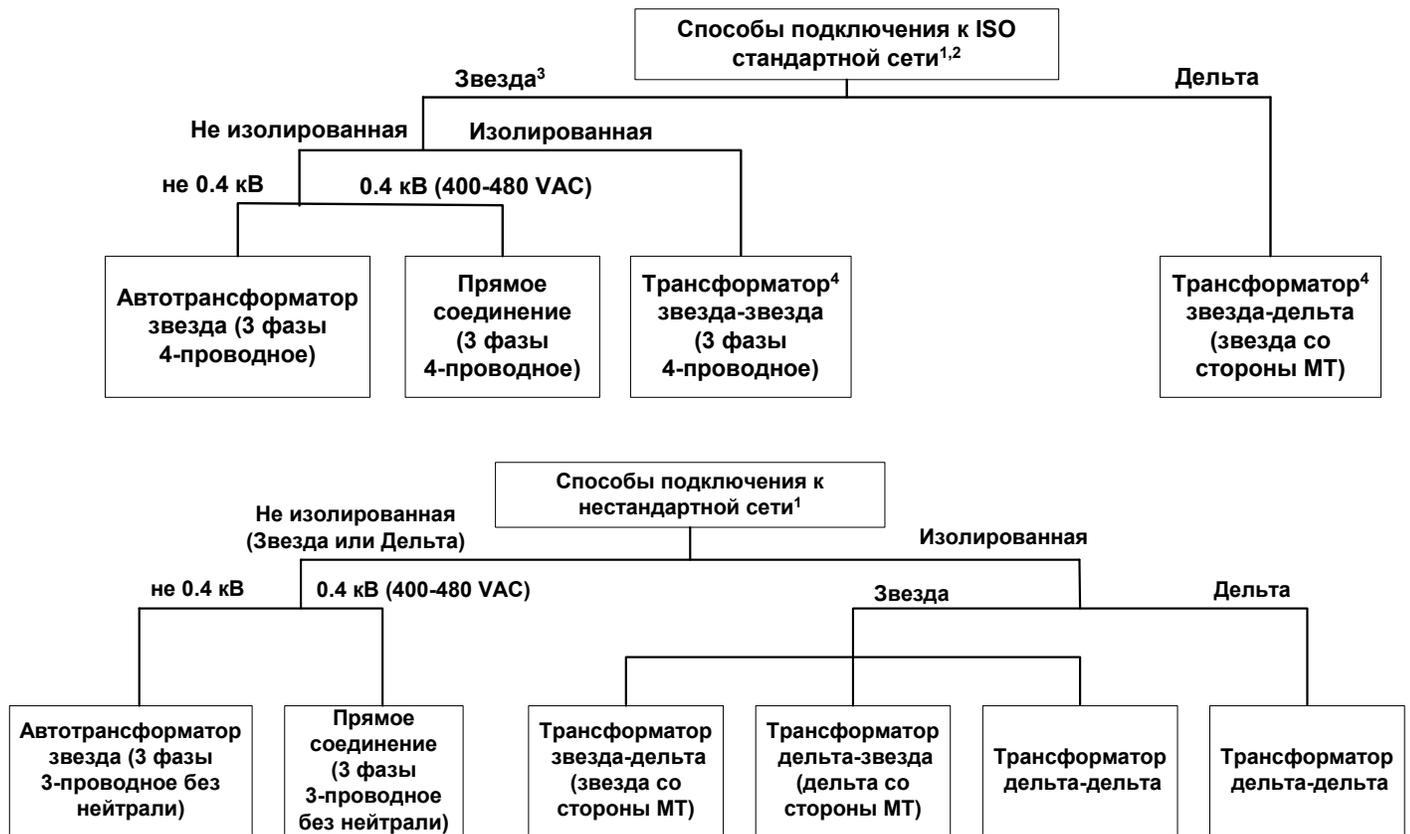
Допускается подключение однофазной нагрузки. При этом балансировка нагрузки на фазу не требуется, действует единственное ограничение – по току и общей мощности МТ. Нейтраль МТ должна быть всегда заземлена;

- **В параллельном режиме** с сетью микротурбинные генераторы обеспечивают следующие способы подключения к сети:
 - Прямое подключение;
 - Через развязывающий трансформатор;
 - Через автотрансформатор.

Рекомендованная схема соединения - 4-х проводная звезда с глухо заземленной или заземленной через активное сопротивление ($R \leq 100$ Ом) нейтралью. Заземление нейтрали должно быть выполнено один раз на трансформаторе или в месте подключения локального сегмента к сети.

МТ должна устанавливаться как можно ближе к точке подключения локального сегмента к сети для уменьшения импеданса, возникновение которого может привести к превышению напряжения в локальном сегменте порогового значения, допустимого для МТ (максимально допустимыми значениями являются: индуктивное сопротивление $\leq 10\%$, активное сопротивление $\leq 5\%$).

Рабочий режим МТ соответствует диапазону напряжений 360-528 VAC, трехфазного, 45-65 Гц, 46А на фазу стабильно (для С60 – 100А). Подключение параллельно с сетью выполняется в соответствии со следующими схемами:



1. Корпус МТ должен быть глухо заземлен и соединен с землей сети.

Со стороны МТ должен быть установлен выключатель с защитой по току (с предохранителем или автомат).

Напряжение фаза-земля на турбогенераторе не должно превышать 480 В.

2. Земля сети должна быть выполнена глухозаземленной или через резистор.

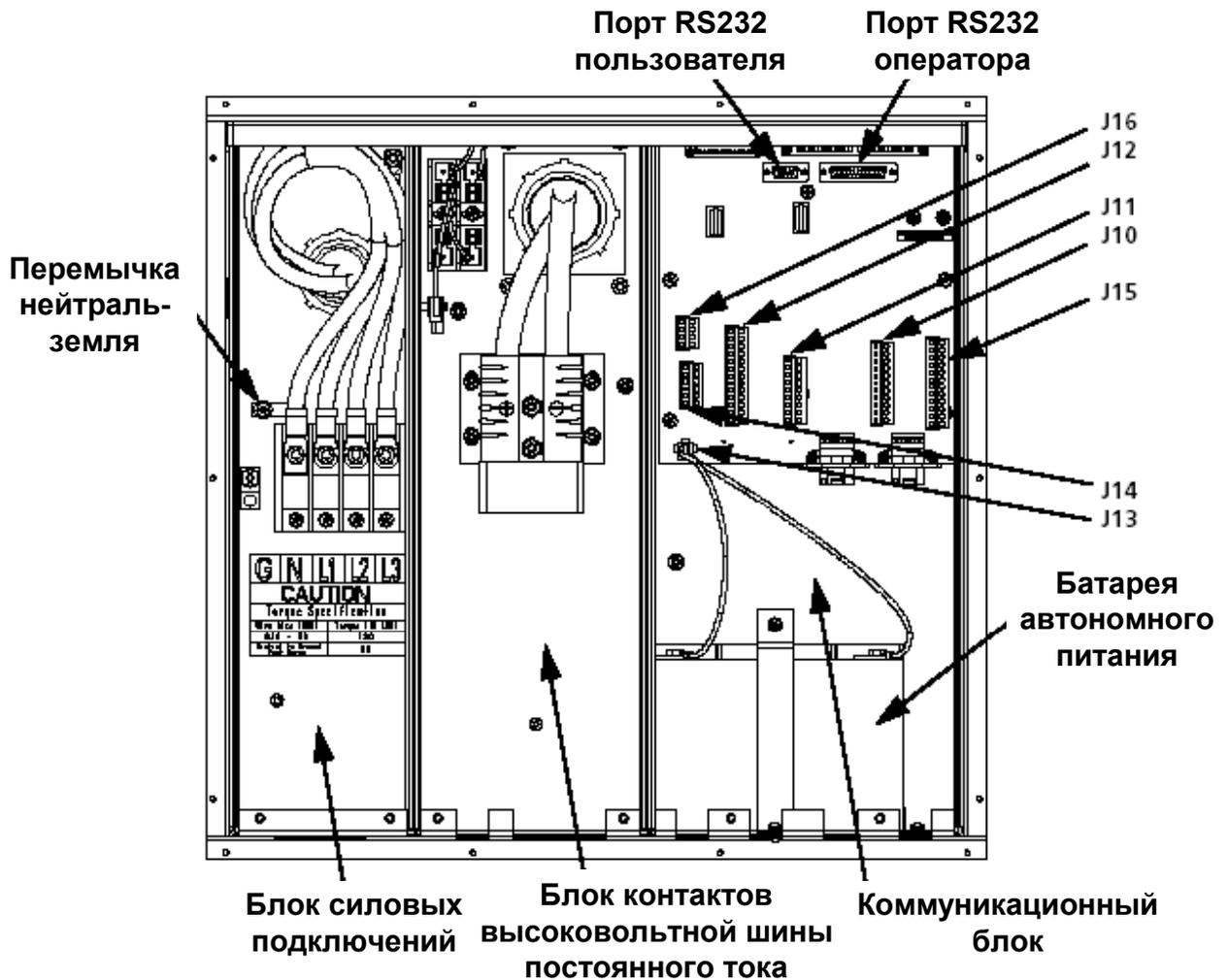
3. Нейтраль сети должна быть соединена с нейтралью турбогенератора или нейтралью трансформатора (если таковой установлен).

4. Нейтраль трансформатора со стороны турбогенератора должна быть глухо заземлена и соединена с нейтралью турбогенератора.

– Автоматический выключатель или размыкатель с предохранителем с визуально различимым воздушным зазором должен быть установлен между МТ и распределительной панелью на расстоянии от МТ, определяемом стандартами и нормами, действующими для места эксплуатации микротурбины.

Устанавливаемое оборудование должно выдерживать максимальные значения по напряжению и току, установленные для конкретной модели МТ (С30 или С60). Кроме того, все оборудование должно быть заземлено и для подключения к контактным площадкам МТ должен использоваться медный кабель на 600 ВА. Винты, фиксирующие кабель на клеммах МТ, должны быть затянуты с усилием 13.8 кг/м (3.5 кг/м для клеммы нейтраль-земля).

Подключение силовой части и управления МТ производится к терминальному блоку МТ, расположенному с нижней части задней стенки корпуса микротурбины:



Выходная мощность

Микротурбинный генератор имеет два ограничения по выходной мощности – электрический ток и температура окружающего воздуха, подаваемого в МТ с учетом поправки на высоту установки над уровнем моря. Из двух ограничений всегда выбирается наиболее строгое.

МТ может питать нагрузку с любым значением коэффициента мощности (с учетом ограничений по току). Ток (I), потребляемый нагрузкой, является функцией потребляемой мощности (W), напряжения (V) и коэффициента мощности (pf):

следовательно, мощность $W = 1,73 \times I \times V \times pf$.

Борьба с низким значением коэффициента мощности возможна с помощью применения компенсационного оборудования (например, для нагрузки, представленной асинхронным электродвигателем, могут быть применены модули конденсаторов). К нагрузке, обладающая высокими пусковыми токами, возможна установка устройства плавного пуска (УПП). Программное обеспечение МТ позволяет задать схему плавного повышения напряжения и частоты, согласованную с УПП и требованиями нагрузки при первоначальном запуске МТ.

Второе ограничение приводит к следующим результатам – МТ производит максимальную мощность в диапазоне температур от -25°C до $+20^{\circ}\text{C}$ окружающей среды (воздуха); далее идет снижение ($+25^{\circ}\text{C}$ - 28 кВт, $+30^{\circ}\text{C}$ - 26квт, $+35^{\circ}\text{C}$ - 24кВт, $+42^{\circ}\text{C}$ - 22кВт, $+50^{\circ}\text{C}$ – 20 кВт). Подъем над уровнем моря вносит дополнительное уменьшение на 1% за каждые 100м изменения. Для обеспечения стабильного температурного режима, в первую очередь, необходимо учитывать потребление воздуха МТ, идущего не только на формирование топливной смеси, но и на охлаждение двигателя и электронного блока. Кроме того, необходимо обеспечить отвод тепла выхлопных газов с тем, чтобы они не попадали во входной тракт подачи воздуха в МТ.

МТ способны устойчиво работать при потреблении со стороны нагрузки от 0 Вт до максимально допустимого для конкретной конфигурации микротурбин. Но при этом минимальная генерируемая мощность (даже в случае установки параметра выходной мощности в 0) составит $N*750$ Вт (где N – количество МТ).

Подключение выхлопного тракта

В результате сгорания топливной смеси из камеры сгорания МТ наружу поступает поток горячего выхлопного газа с температурой порядка 300°C . При проектировании отвода этого газа основная задача состоит в обеспечении минимального обратного давления и физического сопротивления потоку вне зависимости от того, поступает выхлоп в когенерационный теплообменник или напрямую в атмосферу:

Фактор	C30	C60
Температура выхлопа, $^{\circ}\text{C}$.	275	305
Объем выхлопа, $\text{м}^3/\text{мин}$	17	25
Диаметр выхлопной трубы, мм	127 (5")	203 (8")
Масса выхлопа, кг/сек	0.31	0.48

Вопросы для детального изучения

В случае если напряжение сети отличается от 0.4 КВ или импеданс достаточно высок, чтобы вызвать увеличение напряжения выше 480ВА при номинальном значении тока, следует использовать трансформатор мощности. Его параметры должны соответствовать:

- Минимальное расстояние любого объекта до поверхности выхлопного тракта МТ должно составлять 8 дюймов (200 мм);
- В зависимости от конкретного места установки МТ допускается наращивание выхлопной трубы для обеспечения вывода выхлопного газа за пределы помещения. При этом следует соблюдать ограничение по обратному давлению - не более 8 дюймов (200 мм) водяного столба. Превышение максимального лимита по обратному давлению приводит к снижению выходной мощности МТ. Длительное воздействие обратного давления

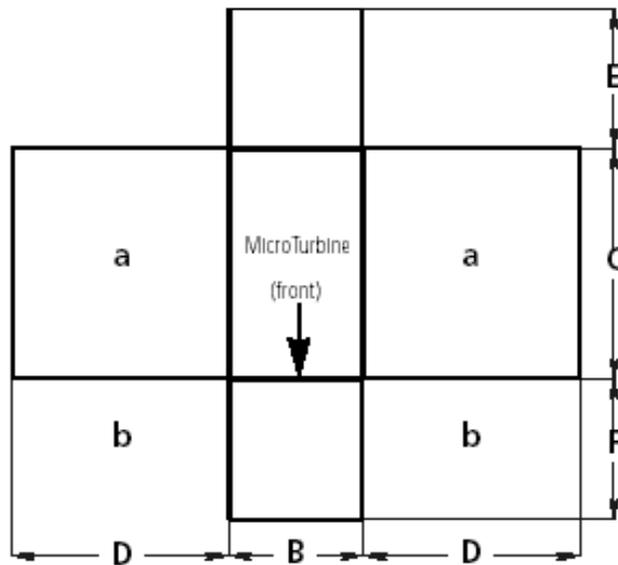
может вызвать повреждение узлов микротурбинного двигателя. Особое внимание следует уделить использованию МТ в когенерационных системах. Например, в случае комплектации микротурбины штатным теплообменником Energen, обратное давление, формируемое собственно теплообменником, составляет 4 дюйма водяного столба;

- При установке МТ внутри помещения следует учитывать следующие рекомендации:
 - Выхлоп микротурбинного двигателя и приточную вентиляцию помещения необходимо проводить по раздельным трактам в противоположные стороны для предотвращения обратного притока горячего воздуха в помещение;
 - Лучше всего выхлоп каждого модуля МТ направлять в атмосферу по своему тракту. При использовании общего газохода на выхлоп каждого модуля МТ следует установить демпфер, для предотвращения попадания выхлопа работающей МТ в неработающую;
 - Для снижения тепловых потерь при утилизации выхлопа используется газоход с изоляцией.

Габариты, вес, сервисные зоны

Модель С30

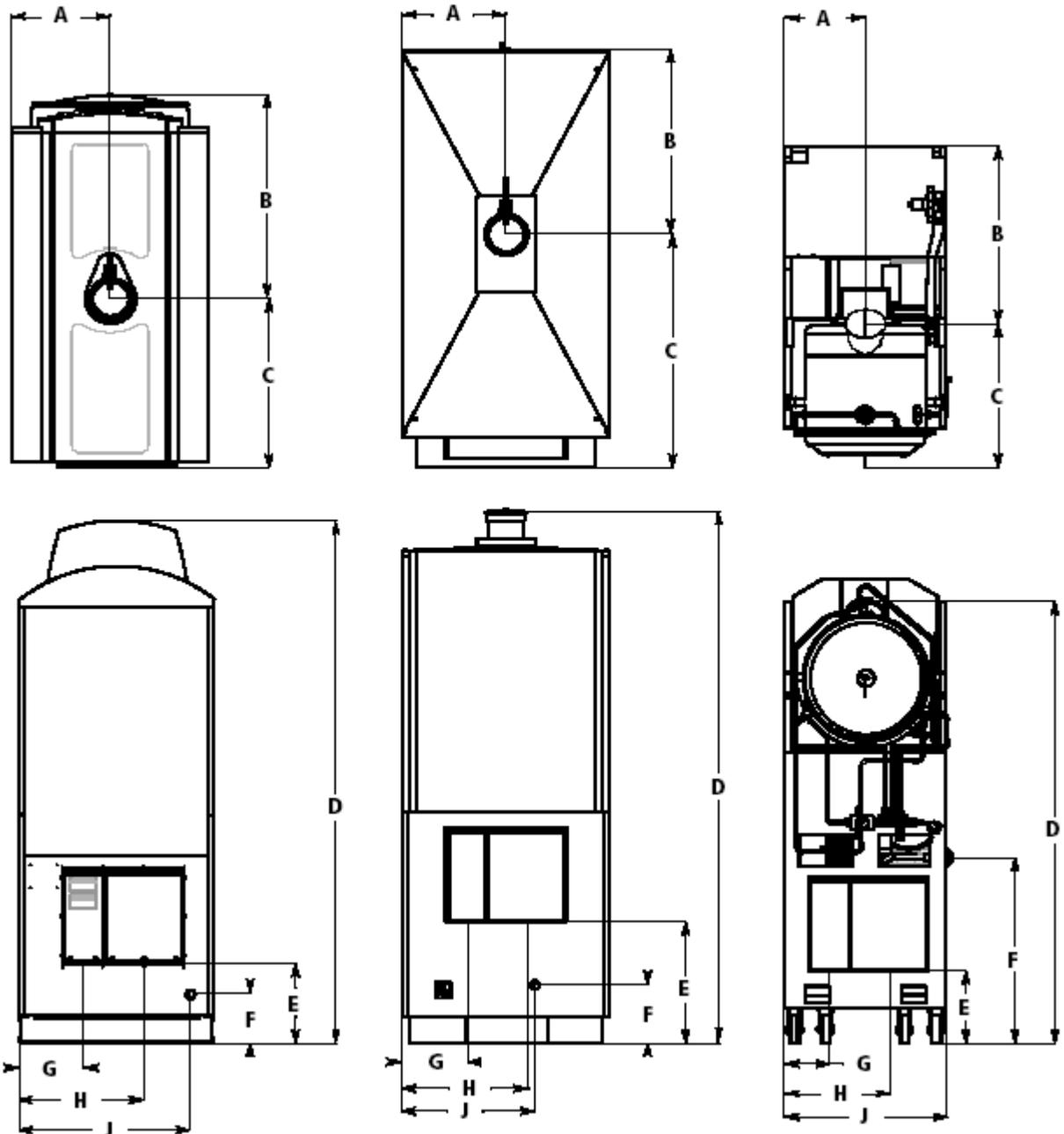
В зависимости от выбранного типа корпуса (стандартный, индустриальный, открытый) весовые и габаритные параметры соответствуют указанным ниже в таблице:



Вес модуля микротурбины без батарей составляет 405 кг. Вес блока батарей – 173 кг.

Фактор	Описание	Стандартный	Индустриальный	Открытый
a	Высота МТ (не показана на схеме вверху), мм	1899	1899	1684
B	Ширина, мм	714	762	653
C	Длина, мм	1345	1518	816
D	Боковая зона, мм	b - 1067	a - 1067	a - 1067
E	Тыловая зона, мм	914	914	914
F	Фронтальная зона, мм	1575	914	914

Расстояние до точек подключения указана ниже:

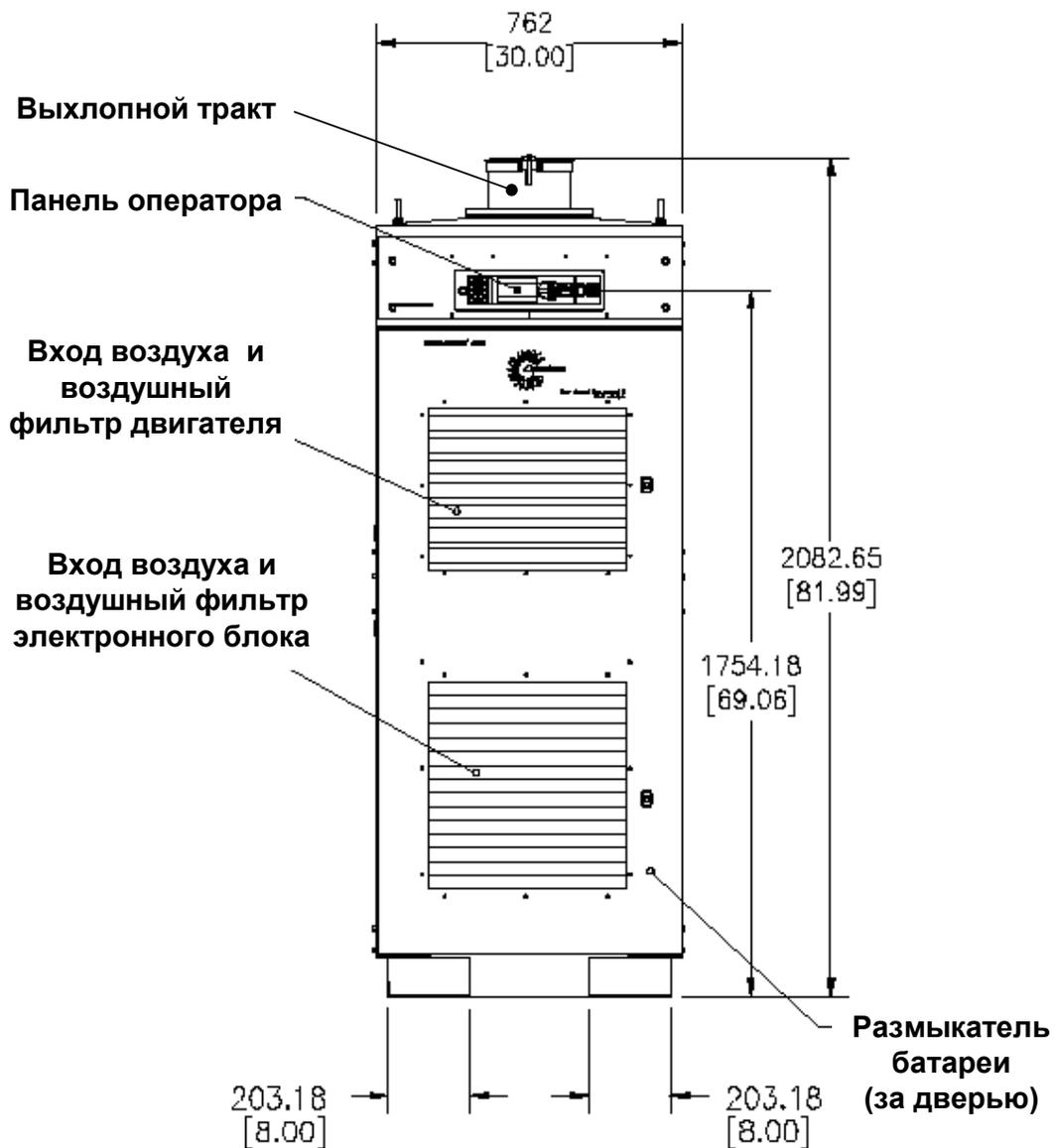


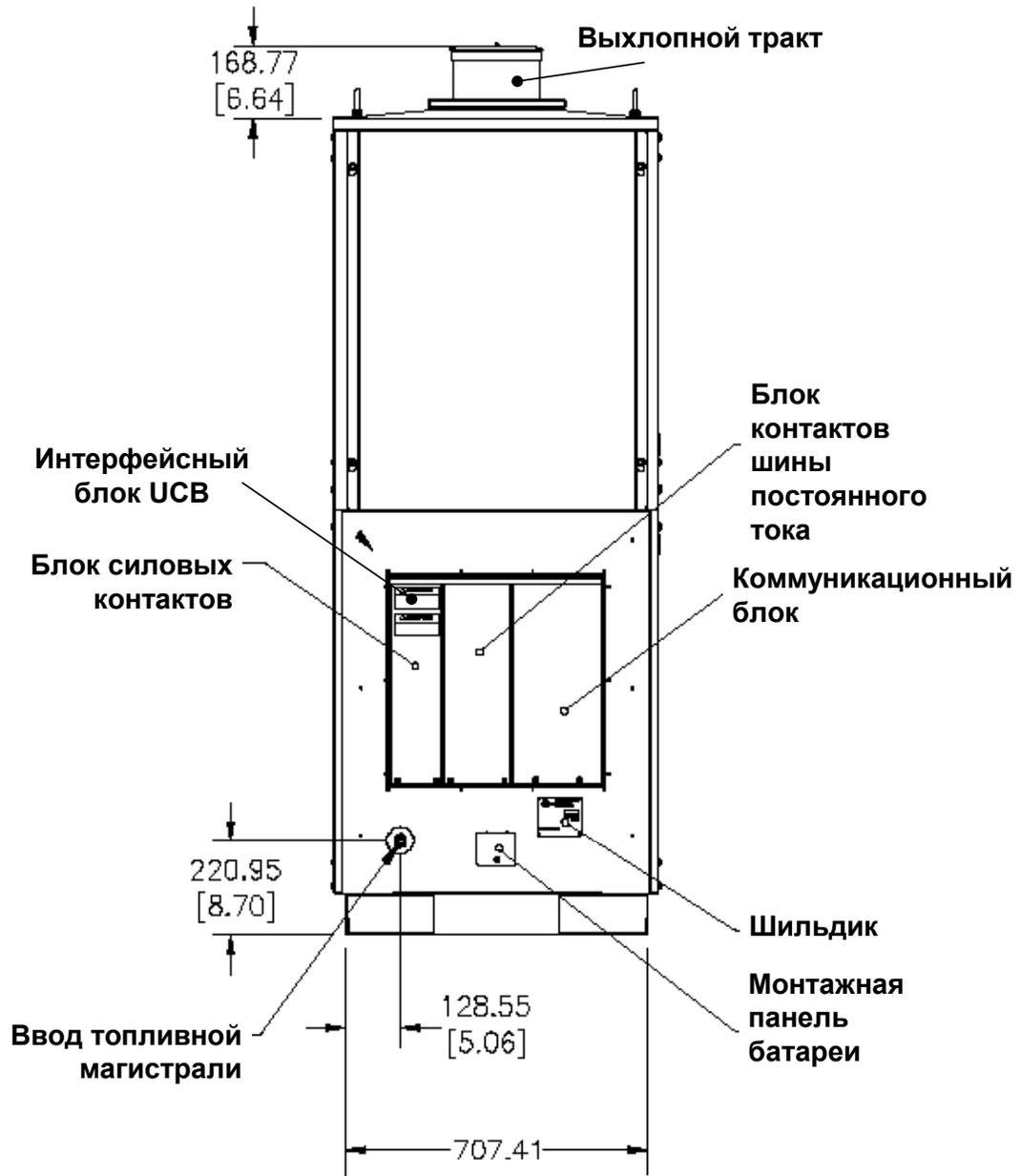
Фактор	Описание	Стандартный	Индустриальный	Открытый
A	До выхлопной трубы, сбоку	357	381	292
B	До выхлопной трубы, с фронта	738	670	650
C	До выхлопной трубы, с тыла	620	853	524
D	До выхлопной трубы, снизу	1899	1933	1608
E	До терминального блока,	289	442	262

	снизу			
F	До топливного ввода, снизу	180	211	676
G	До силового блока, сбоку	241	241	162
H	До блока управления, сбоку	457	462	381
J	До топливного ввода, сбоку	625	486	590

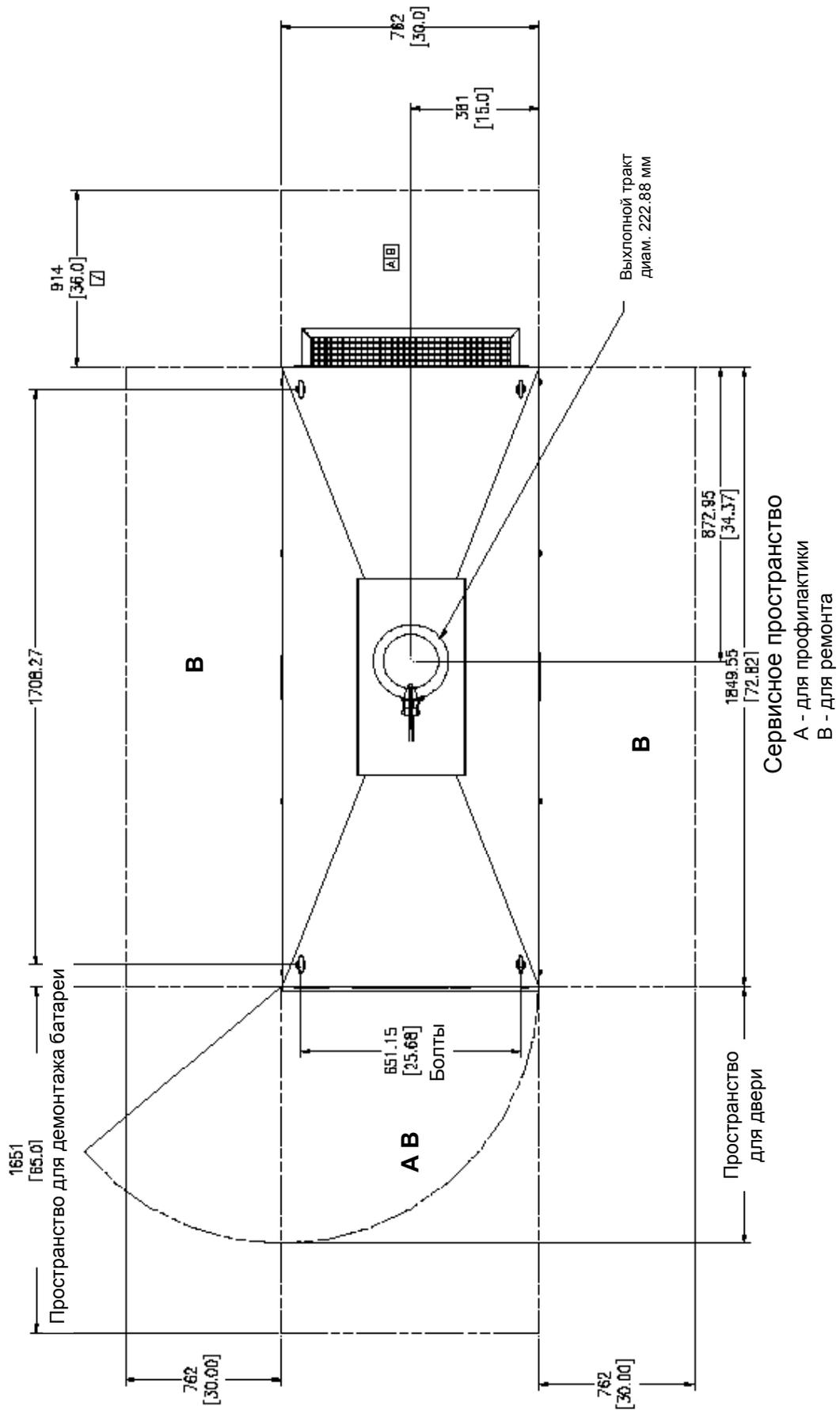
Модель С60

В зависимости от выбранного типа корпуса (индустриальный или открытый) весовые и габаритные параметры соответствуют указанным ниже в данном разделе:





Вес модуля микротурбины С60 без батареи составляет 758 кг. Вес блока батарей – 363 кг.



Экология

Акустическая эмиссия 65 ДБ для С30 и 70 ДБ для С60 на расстоянии 10м.

Выхлоп МТ содержит не более 9 ppm NO_x, Не более 20 ppm СО, не более 9 ppm других углеводородов, не менее 15% кислорода.

Вибрация корпуса отсутствует.