

Расчёт параметров и выбор оборудования СБГЭ

Версия 5.4 / 03 февраля 2011 г.

В настоящем документе изложены основные рекомендации по подбору оборудования для комплектования систем бесперебойного и гарантированного электропитания переменного тока.

Получение исходных данных

При выборе моделей оборудования, как правило, приходится сталкиваться с недостаточностью или недостоверностью исходных данных. Тем не менее, в идеальном случае от заказчика необходимо получить следующую информацию:

1. Таблица нагрузок. От подробности и достоверности данного документа зависит правильность расчётов и выбора оборудования. В таблице нагрузок желательно указать (по каждому отдельному потребителю):
 - a. Номинальное напряжение и частота (как правило, 220 или 380 В, 50 Гц).
 - b. Число фаз (1 или 3).
 - c. Потребляемая мощность активная в установившемся режиме работы (в Вт).
 - d. Потребляемая мощность полная в установившемся режиме (в ВА) и коэффициент мощности (в о.е.) Для реактивных потребителей желательно указание характера реактивности – емкостной или индуктивный.
 - e. Потребляемая мощность в пусковом режиме (любая – но с указанием вида: полная или активная, или потребляемый ток), а также примерная длительность пускового режима. Необходимо указать также, происходит ли запуск данного потребителя только при восстановлении подачи электропитания, или он включается и выключается периодически (например, привод лебёдки или компрессор). Для асинхронных электродвигателей желательна информация о величине коэффициента мощности при пуске (как правило, она составляет от 0,35 до 0,6). Для импортных электродвигателей – код по классификации NEMA.
 - f. Требование по бесперебойности (нужно ли питать данного потребителя от ИБП?) или допустимая длительность перерыва подачи электропитания. Если такого требования нет, то данный потребитель в расчёте системы будет учитываться как нагрузка для системы гарантированного электропитания (с возможным перерывом питания до 60-90 сек).
 - g. Требование по уровню надёжности системы электропитания (или по степени резервирования – например, “N+1”).
 - h. Требование по длительности автономной работы (в мин, часах).
 - i. Для мощных потребителей (десятки кВА и выше) указать – одновременно ли они включаются при возобновлении подачи электропитания или существует возможность организации их последовательного запуска или построения схемы плавного старта.
 - j. Характеристика работы потребителя – в нормальной (штатной) ситуации или только в чрезвычайных случаях (например, при пожаре, когда штатная нагрузка отключена).
2. При отсутствии таблицы нагрузок вся информация, перечисленная выше, может быть передана в свободной форме (перечисление).
3. Характеристики сети: число фаз, режим нейтрали (TN-C, TN-S), необходимость выполнения гальванической развязки (фазных линий, нейтрального проводника), наличие ограничения по потребляемой мощности.
4. Характеристики уже установленного оборудования, которое предполагается включить в СБГЭ (например, установленного ИБП, к которому нужно подобрать ДГУ или уже функционирующего ДГУ, от которого осуществляется резервное питание предполагаемой системы ИБП). Как правило, указания только названия модели недостаточно – требуется информация по конфигурации входного каскада для ИБП, установленным регуляторам напряжения для ДГУ и т.д.
5. Ограничения по месту установки (занимаемая площадь, общая и удельная нагрузка на пол, максимальное тепловыделение и т.д.)

6. Требования по мониторингу (какая информация нужна, какой требуется/существует способ доступа и среда передачи данных – локальная сеть (протокол TCP/IP, SNMP), доступ через коммутируемую телефонную сеть общего пользования, радиодоступ, GSM сеть).

Обработка исходных данных

1. Сначала определяется общий облик системы – будет ли она состоять из только ИБП, только ДГУ или их комбинации. Наличие в списке требований указания на бесперебойность однозначно свидетельствует о необходимости использования ИБП. Как правило, требование длительного времени автономной работы (свыше 1-2 часов) приводит к необходимости использования ДГУ. Необходимо иметь в виду, что ИБП не является источником энергии (его задача – улучшить качество, но не добавить мощности), поэтому при дефиците мощности на объекте обязательно потребуется разделение нагрузок на группы и организация электропитания одной из групп от резервного ДГУ.
2. В общем случае вся нагрузка разделяется на две группы – группа бесперебойного электропитания и группа гарантированного электропитания. В группу бесперебойного питания включаются все потребители, не допускающие перерыва питания или предъявляющие повышенные требования к качеству электроэнергии (стабильность напряжения или частоты, синусоидальность и т.д.) Как правило, эти потребители кроме высоких требований к качеству напряжения требуют длительной поддержки электропитания при аварии городских сетей (то есть необходимо бесперебойное и гарантированное электропитание). В группу гарантированного питания включаются все потребители, требующие повышения уровня надёжности электропитания, но допускающие кратковременное прерывание подачи электроэнергии, либо имеющие встроенные технические средства, обеспечивающие бесперебойность электропитания.
3. Для каждой группы вычисляется суммарная номинальная и максимальная потребляемая мощность (полная – в кВА и активная – в кВт), коэффициент мощности, определяется требуемая фазность источника электропитания и возможность последовательного и (или) мягкого включения отдельных потребителей.
4. В случае отсутствия информации по пусковым режимам для потребителей с асинхронными электродвигателями принимается кратность пускового тока 5-7 по отношению к номинальному потребляемому току. Также, при отсутствии указаний на наличие схемы последовательного включения нескольких мощных потребителей при расчётах рассматривается их одновременный запуск (это существенно повышает требуемый запас по мощности оборудования СБГЭ).

Выбор оборудования для построения СБГЭ

Порядок расчёта мощностей и выбора конфигурации оборудования в составе СБГЭ:

1. Производится расчёт суммарной потребляемой мощности и других параметров нагрузки бесперебойной группы. При наличии однофазных потребителей рассматривается возможность их равномерного распределения по фазам трехфазной сети бесперебойного электропитания (если потребуется, необходимо уточнить у заказчика возможность изменения существующей кабельной разводки и монтажа распределительных щитов). Если предполагается использование ИБП с трехфазным входом и выходом, такое распределение позволяет снизить требуемую мощность ИБП, однако его мощность должна выбираться с учётом наиболее загруженной фазы (допускается 100% перекос по нагрузке на выходе, но потребляемая по одной фазе мощность не должна превышать 1/3 номинальной мощности ИБП).
2. Выбирается модель ИБП (или параллельная система ИБП) по мощности, необходимой для питания данной нагрузки. Учитывается номинальная и пусковая мощность, соотношение выходной полной и активной мощности ИБП и потребляемой полной и активной мощности нагрузки (у ИБП оба показателя должны быть больше, чем у нагрузки), а также возможное снижение выходной мощности ИБП при ёмкостной нагрузке. При выборе параллельной системы надо учитывать, что максимальную надёжность имеет система, состоящая из минимального числа элементов (т.е. из двух ИБП).
3. Запас по мощности ИБП выбирается с учётом прогнозов по развитию системы (увеличения числа потребителей), частоты возникновения и величины возможных перегрузок. Необходимо

- учитывать, что перегрузка не является номинальным (штатным) режимом работы оборудования, отказ ИБП из-за неоднократных перегрузок не является гарантийным случаем.
4. Выбранная модель и конфигурация системы ИБП корректируется с учётом требования по обеспечению надёжности системы электропитания или резервированию (например, увеличивается количество ИБП в параллельной системе).
 5. Определяются характеристики АКБ (с учётом требования по времени автономной работы и параметров зарядной цепи ИБП). При необходимости рассматривается замена ранее выбранной модели ИБП на другую (большей мощности или с более высоким зарядным током) для обеспечения рекомендованных значений зарядного тока. Альтернатива – согласование с заказчиком уменьшения требуемого времени автономной работы.
 6. Проводится расчёт потребляемой мощности на входе ИБП (параллельной системы ИБП): либо с учётом величины нагрузки на ИБП, его КПД и затрачиваемой на заряд АКБ дополнительной мощности, либо по техническим данным на ИБП (раздел «Выпрямитель», параметр – максимальная потребляемая мощность при номинальной нагрузке и заряде АКБ).
 7. Рассчитывается суммарная мощность и другие параметры нагрузки гарантированной группы (пока без учёта ИБП), планируется поочерёдный запуск мощных потребителей (если его возможно реализовать).
 8. Анализируется возможность (или необходимость) реализации последовательного запуска параллельных или нескольких одиночных ИБП (для уменьшения броска тока при подаче электроэнергии от ДГУ) и/или отключения заряда АКБ (для уменьшения мощности, потребляемой от ДГУ).
 9. Выбирается модель ДГУ с учётом суммарной потребляемой мощности (гарантированная группа + потребляемая мощность ИБП). Учитывается номинальная и пусковая мощность нагрузки, соотношение выходной полной и активной мощности ДГУ и потребляемой полной и активной мощности нагрузки – у ДГУ оба показателя должны быть больше, чем у нагрузки. Выходной коэффициент мощности ДГУ принимается равным 0,8. Для трехфазных ДГУ переком по потреблению электроэнергии по разным фазам не должен превышать 30%.
 10. Проводится проверка выбранной модели ДГУ с точки зрения просадки выходного напряжения при набросе нагрузки (как правило, она должна быть не больше 15% от номинального выходного напряжения). При превышении данного значения необходимо либо выбрать более мощный ДГУ, либо принять меры к снижению ступенчатой нагрузки.
 11. Проводится расчёт величины искажения синусоидальности кривой напряжения на входе ДГУ (с учётом характеристик входного каскада ИБП).
 12. Проверяется необходимость увеличения мощности ДГУ для компенсации нелинейных искажений или замены модели ИБП на ИБП с входным фильтром или транзисторным выпрямительным каскадом. При выборе более мощного ДГУ необходимо учитывать требование по минимальной загрузке ДГУ при работе на нагрузку (не менее 30% его номинальной мощности).
 13. Анализируется корректность расчётных режимов работы оборудования (с точки зрения перегрузок ИБП и ДГУ, просадки выходного напряжения и частоты ДГУ при набросе нагрузки, величины минимальной нагрузки для ДГУ, сбалансированности нагрузки для трехфазных ДГУ).
 14. Проверяется выполнение остальных требований заказчика к рассматриваемой СБГЭ (по месту установки оборудования, согласованности с уже смонтированными системами питания, питающими сетями, по режиму нейтрали, мониторингу).

Некоторые замечания:

1. Совместная работа ИБП и ДГУ
 - а. Оптимальными для совместной работы с ДГУ являются трехфазные ИБП серий LP33 (10-120 кВА) или SG PurePulse (60-500 кВА) производства GE. Остальные ИБП, как правило, требуют доукомплектации фильтрами гармоник или 12-пульсными выпрямителями (и первые и вторые не обеспечивают хороших характеристик при неполных загрузках, а входные фильтры просто отключаются при потреблении менее 40% номинальной мощности).

- b. Для снижения потребляемой от ДГУ мощности на ИБП может быть запрещён заряд АКБ в то время, когда ИБП питается от ДГУ. Это делается подачей сигнала на вход контактного интерфейса ИБП, для чего используется штатная плата интерфейса пользователя ИБП серий SitePro или SG. Для ИБП серии LP33 эта плата является опциональной и устанавливается вместо штатной платы релейного интерфейса.

2. Расчёт АКБ для ИБП

- a. Если заказчик предъявляет требование по резервированию системы ИБП (например, типа N+1), использование общей аккумуляторной батареи (т.наз. «Common battery») является нарушением данного требования.
- b. Режим общей батареи («Common battery») невозможен для параллельных ИБП серии SG PurePulse.
- c. При расчёте и построении системы АКБ следует избегать параллельного соединения более чем 4-х линеек АКБ. Максимально разрешённой изготовителями АКБ считается конфигурация из 6 параллельно включённых линеек.
- d. Величина зарядного тока должна лежать в пределах от 10% до 25% величины ёмкости АКБ, выраженной в А. Для 10-летних батарей допускается заряд меньшим током (до 5% от ёмкости). Номинальным для ИБП считается режим, при котором величина тока в начале заряда составляет 20% ёмкости.
- e. При комплектации ИБП аккумуляторной батареей большой ёмкости необходимо согласовать с заказчиком увеличенное (по сравнению с типовым 6-8 часов) время восстановления полного заряда, которое может составлять от 12-24 часов до нескольких суток. Такая ситуация обязательно должна быть согласована с заказчиком, поскольку возможно, что такое длительное время восстановления ёмкости является недопустимым и потребует выбрать более мощный ИБП.
 - i. Важный ограничительный фактор – потребляемая ИБП от сети мощность может сильно возрасти по сравнению с мощностью нагрузки (поскольку для быстрого заряда большой АКБ требуется мощность, соизмеримая с мощностью нагрузки). Если на объекте система электропитания уже реализована без запаса по мощности, то данное требование может стать невыполнимым.
 - ii. Указанное в документации время заряда АКБ (от 4 до 8 часов) справедливо для АКБ на 10-20 минут автономной работы ИБП на номинальную нагрузку при её заряде номинальным (20% от величины ёмкости) током.
 - iii. Оценка времени, требуемого для заряда АКБ, может быть получена с учётом ёмкости АКБ, величины зарядного тока, длительности разряда и величины нагрузки. Калькулятор времени, требуемого для подзаряда АКБ, размещён на сайте компании «Аккуланд» (www.akkuland.ru).
- f. Некоторые ухищрения, позволяющие увеличить зарядный ток:
 - i. Для ИБП с однофазным выходом (LP11, LP31T, LP31) возможно применение внешнего дополнительного универсального зарядного устройства (UBC), увеличение тока – на 8А. Таких устройств можно включать несколько при существенной ёмкости АКБ (более 100 Ач).
 - ii. В ИБП серии LP33 от 10 до 30 кВА можно установить дополнительную плату ЗУ (увеличение зарядного тока с 4,2 А до 8,4 А).
 - iii. Для ИБП серий SitePro и SG, работающих на неполную нагрузку, возможно увеличение зарядного тока выше значения, указанного в технических данных (пропорционально «запасу мощности», образуемому за счёт работы ИБП на неполную нагрузку).
- g. При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение АКБ, установленным на стеллажах, а не смонтированным внутри батарейных шкафов.

3. Группировка потребителей

- a. При наличии нескольких последовательно включаемых потребителей с большим стартовым током оптимальная последовательность их запуска такова: сначала самый мощный потребитель, затем менее мощный и т.д.
- b. При выборе оборудования на основании суммарной потребляемой мощности надо обязательно принимать во внимание мощность питающей сети и распределение этой мощности по вводам. Мощность на входе СБГЭ не может быть больше мощности одного ввода. Если необходимо, произвести разделение СБГЭ на несколько кластеров меньшей мощности (каждый из которых может включать в себя ДГУ и ИБП).

4. Выбор ИБП

- a. При подключении нагрузок с большими пусковыми токами к выходу ИБП не рекомендуется подбирать мощность ИБП таким образом, что при их пуске ИБП переходил в режим перегрузки, особенно для потребителей, работающих в старт-стопном режиме (мощные кондиционеры, двигатели подъёмных механизмов). Это приводит к ускоренному выходу из строя полупроводниковых элементов выходного каскада ИБП.
 - b. При использовании ИБП с трехфазным входом и однофазным выходом следует обязательно просчитать режим работы входной сети и ИБП на электронном и/или ручном байпасе, при котором может возникнуть существенный переком по загрузке входной сети. В общем случае, лучше избегать применения ИБП структуры «3ф вход/1ф выход» (особенно, серии LP31 производства GE DE).
5. Зачастую заказчик сообщает величину загрузки планируемых или уже установленных ИБП менее 100% и заявляет о том, что система всегда будет находиться в недогруженном состоянии. Если данное заявление не подкрепляется информацией о технических средствах, ограничивающих мощность нагрузки, то существует вероятность дальнейшего увеличения нагрузки. Если СБГЭ будет создана без учета такой перспективы, сечение кабелей, номиналы аппаратов защиты и мощности выбранных ИБП и/или ДГУ окажутся недостаточными.
6. Если планируется длительная работа СБГЭ при аварии входной сети, и в составе системы имеются ИБП, необходимо предусмотреть резервное электропитание систем кондиционирования или вентиляции, которые обеспечивают номинальный температурный диапазон для ИБП. В этом случае кондиционеры должны запитываться от ДГУ. Следует по возможности избегать подключения мощных кондиционеров к выходу ИБП, поскольку это приводит к броскам тока при запуске компрессора.
- ### 7. Выбор ДГУ и его комплектация
- a. В качестве резервной установки предпочтительно выбирать ДГУ с водяным охлаждением с частотой вращения вала 1500 об/мин, как наиболее надёжные и обладающие достаточным моторесурсом.
 - b. Для ДГУ, работающей в качестве основного источника электроэнергии (станция с панелью ручного управления), среднесуточный коэффициент загрузки должен быть не выше 80%, возможна её кратковременная работа с перегрузкой не более 10%. Для автоматической ДГУ с АВР загрузка может достигать 100%, перегрузка при работе недопустима.
 - c. Для ДГУ как основного источника электроэнергии или резервного ДГУ с длительным временем резервирования (12-24 часа и больше) может потребоваться монтаж дополнительной топливной системы и дополнительного бака для смазочного масла.
 - d. Параллельная система ДГУ рекомендуется при существенных колебаниях величины потребляемой мощности (например, суточный производственный цикл). В состав параллельной группы могут входить ДГУ разной мощности.

Примеры расчёта параметров оборудования СБГЭ:

1. Техническое обоснование выбора мощности дизель-генераторной установки для резервного электроснабжения ИБП LP 33 60 КВА

а) Расчет мощности, потребляемой источником от ДГУ

Исходные данные сведены в таблицу:

КПД* ИБП LP 60кВА, о.е.	η ИБП	0,92
Нагрузка, кВт	Pн	40
Мощность от ДГУ на питание нагрузки, кВт	PвхИБП	43,5
Ток заряда АКБ, А	I зар	15
Напряжение заряда, В	U зар	546
КПД выпрямителя, о.е.	η ИБП	0,98
Мощность от ДГУ на заряд АКБ, кВт	Pзар	8,0

ИТОГО:

Активная мощность, потребляемая ИБП, кВт	Pнн	51,5
К-т м-ти входной ИБП, о.е.	Cosφ ИБП	0,98
Полная мощность, потребляемая ИБП, кВА	Sнн	52,5
Пусковая мощность ИБП, кВА (равна номинальной)	Sпуск	52,5
Эквивалентная пусковая мощность ИБП, кВА	Sпуск экв	64,3

Мощность нагрузки, набрасываемой на ДГУ за один шаг не должна превышать 60% от основной мощности ДГУ (рассматривается активная мощность). Тогда мощность ДГУ:

$$P_{дгу} \geq P_{нн}/0,6 = 51,5/0,6 = 85,8 \text{ кВт}; S_{дгу} \geq 107,2 \text{ кВА.}$$

Предположительно, это может быть ДГУ DPA 110E и модели большей номинальной мощности (например, DVA 140E, DPA 150E и др.).

б) Учет искажений синусоидальности выходного напряжения ДГУ, обусловленных подключением к генератору выпрямителя ИБП

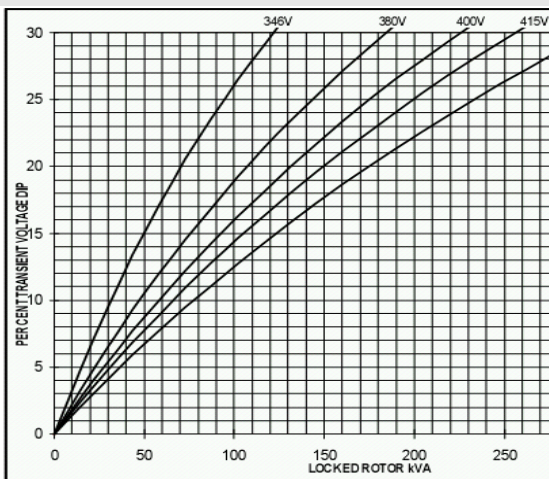
ИБП серии LP характеризуются низким искажением входного тока; такие источники оказывают минимальное влияние на форму фазных токов и выходного напряжения генератора. Поэтому дальнейший подбор генератора для ИБП LP 33 60кВА сводится к оценке способности указанных выше ДГУ к «подхвату нагрузки».

с) Оценка способности ДГУ к «подхвату нагрузки».

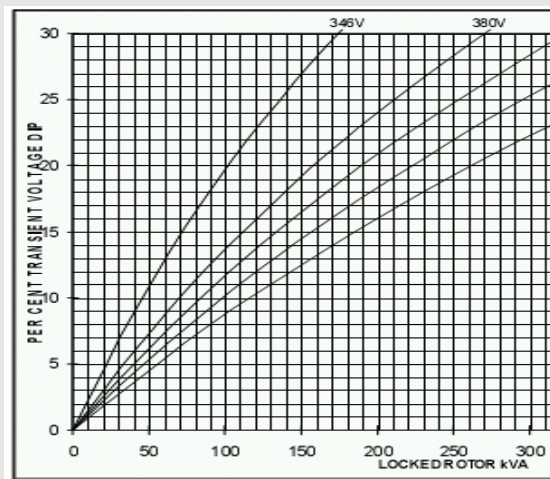
Оценивается величина мгновенной просадки напряжения выбранных выше дизель-генераторов, потенциально пригодных для электроснабжения (DPA 110E, DVA 140E, DPA 150E и т.д.) при скачкообразном набросе нагрузки – подключении ИБП. В момент подключения ИБП к генератору наблюдаются изменение выходного напряжения генератора, просадка может выйти из допустимого для ИБП диапазона напряжений, ИБП воспримет это как пропадание сети и перейдет на питание от батареи. Генератор окажется в режиме электрического холостого хода и восстановит напряжение и частоту. ИБП, восприняв это как появление сети, вновь перейдет с батареи на генератор. Подключение нагрузки опять вызовет просадку напряжения и частоты генератора – и процесс повторится.

Величина просадки выходного напряжения зависит от соотношения мощностей ДГУ и ИБП. Чем меньше разность между мощностью ДГУ и пусковой мощностью нагрузки $S_{пуск}$, тем больше будет мгновенная просадка напряжения генератора в момент подключения ИБП.

Для оценки величины динамического падения напряжения ΔU используются специальные кривые $\Delta U=f(S_{пуск})$, предоставляемые производителем синхронных генераторов:



Изменение выходного напряжения генератора Newage Stamford марки UCI 274C1 (DPA 110E) при набросе нагрузки



Изменение выходного напряжения генератора Newage Stamford марки UCI 274E1 (DVA 140E и DPA 150E) при набросе нагрузки

Чтобы по кривым определить величину динамической просадки выходного напряжения, следует по оси абсцисс отложить эквивалентную пусковую мощность ИБП, поднять перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей 380В и спроектировать точку пересечения на ось ординат. Проекция даст значение просадки напряжения в % от номинальной величины.

Значения динамических просадок напряжения сведены в Таблицу:

ДГУ	DPA 110E	DVA 140E
Генератор	UCI 274C1	UCI 274E1
ΔU, %	11%	8%
Uвых,В	356	368

Из Таблицы следует, что при подключении к генераторам DPA 110E и DVA 140E нагрузки LP33 60кВА (40кВт) напряжение скачком падает, соответственно, на 11% (до 356В) и 8% (до 368В).

Очевидно, что обе электростанции обеспечат безопасный прием установленной нагрузки – несмотря на существенную просадку, их выходное напряжение останется внутри допустимого для ИБП диапазона напряжений «без перехода на батареи» (320-460В). Это гарантирует согласованную работу ИБП и ДГУ.

2. Пример определения минимально допустимой мощности ДГУ для группы потребителей бесперебойного и гарантированного питания.

Энергопотребление в номинальном режим работы, без учета пусков: 1 этап

Общая нагрузка, кВА	Собщ	
К-т мощности нагрузки	Сосфн	0,8
Общая нагрузка, кВт	Рн	0
Мощность нагрузки особой категории (ИБП), кВт	Рособ	770

ИБП

Нагрузка, кВт	Рособ	770
КПД* ИБП, о.е.	η ИБП	0,93
Мощность от ДГУ на питание нагрузки через ИБП, кВт	РвхИБП	828,0

Емкость АКБ, АЧ	АЧ	1900
Ток заряда АКБ, % от ёмкости		10%
Ток заряда АКБ, А	I зар	190
Напряжение заряда, В	U зар	422
КПД выпрямителя, о.е.	η ИБП	0,97
Мощность от ДГУ на заряд АКБ, кВт	Рзар	82,7

ИТОГО, ИБП:

Активная мощность, потребляемая ИБП, кВт	Рнн	910,6
К-т м-ти входной ИБП, о.е.	Сосф ИБП	0,98
Полная мощность, потребляемая ИБП, кВА	Снн	929,2

С учетом дополнит.оборудования

Дополнительное оборудование, кВт	Рдоп	436,9
К-т мощности номинальный входной, о.е.	Сосфн	0,8
Дополнительное оборудование, кВА	Сдоп	546,1

Всего от ДГУ в номинальном режиме, кВА	S	1475,3
Всего от ДГУ в номинальном режиме, кВт	P	1347,5

ДГУ не менее, кВА (P/CosF дгу)	1684,4
---------------------------------------	---------------

С учетом доп.оборудования и СВК

Номинальная мощность, кВт	Рном	63,1
К-т мощности номинальный входной, о.е.	Сосфн	0,8
Номинальная мощность, кВА	S ном	78,9
Рабочий ток, А	I ном	119,8

Всего от ДГУ в номинальном режиме, кВА	S	1554,2
Всего от ДГУ в номинальном режиме, кВт	P	1410,6

ДГУ не менее, кВА (P/CosF дгу)	1763,3
---------------------------------------	---------------

Режим пуска СВК

Запуск

Пусковой ток кондиционера	Ip	800
К-т мощности пусковой	Сос Фп	0,6
Мощность пусковая, кВА	Спуск	552,0
Мощность пусковая, кВт	Рпуск	331,2

Всего от ДГУ в момент пуска СВК (ИБП уже работает от ДГУ):

$$S_{нн} + S_{конд} = S_{дгу} = 2027,3$$

$$P_{нн} + P_{конд} = P_{дгу} = 1678,7$$

ДГУ не менее, кВА (Pдгу/CosF дгу)	2098,4
--	---------------