



ТА 2108-0031

Техническая инструкция

Автономный режим



© INNIO Jenbacher GmbH & Co OG
Achenseestr. 1-3
A-6200 Йенбах, Австрия
www.innio.com



JENBACHER
INNIO

1	Область применения	2
2	Назначение	2
3	Дополнительная информация	2
4	Определение	3
4.1	Общее определение автономного режима	3
4.2	Действующие стандарты и директивы	4
5	Категории автономного режима	4
6	Факторы воздействия в автономном режиме	5
6.1	Наращивание нагрузки	5
6.2	Сброс нагрузки	6
7	Факторы воздействия в автономной сети (установки с несколькими двигателями)	6
8	Оценка эффективности автономного режима	6
9	Диаграммы наращивания/снижения нагрузки для автономного режима	8
9.1	Диаграммы наращивания/снижения нагрузки	8
9.2	Сброс нагрузки	10
10	Питание установок бесперебойного электроснабжения	11
10.1	Питание установок бесперебойного электроснабжения (USV)	12
10.2	Параллельная работа с установками USV	12
10.3	Время работы в резервном режиме – 15 с в соответствии с DIN VDE 0100 часть 710 или часть 718	12
10.4	Плавное намагничивание трансформаторов	12
10.5	Запуск из обесточенного состояния	12
10.6	Параллельная работа нескольких агрегатов	13
10.6.1	Степень пропорциональности (статика частоты вращения или частоты, speed droop)	13
10.6.2	Частичная линия активной нагрузки (одновременный режим)	14
10.6.3	Частичная линия реактивной нагрузки (статика напряжения, voltage droop)	14
10.6.4	Система управления нагрузкой	15
10.7	Данные, требующие особого внимания	16
10.7.1	Состояние выключателей как показатель рабочего состояния – задержка	16
10.7.2	Неизвестные нагрузочные условия у заказчиков – емкостные нагрузки	16
10.7.3	Регулировка сетевого потребления	16
10.7.4	Вспомогательные системы	16
11	Граничные условия	17
11.1	Номинальная нагрузка двигателя	17
11.2	Уровень эмиссии газовых двигателей	17
11.3	Уровень эмиссии дизельных двигателей	17
11.4	Температура охлаждающей смеси воды, температура смеси	17
11.5	Момент зажигания/синхронизация впрыска	17
11.6	Температура всасываемого воздуха	18
11.7	Противодавление выхлопа	18
11.8	Автономный режим при работе на биогазе, свалочном и канализационном газе	18
11.9	Подача газа	18
11.10	Подача дизельного топлива	18
11.11	Генератор	18
12	Приложение А. Параметры оценки эффективности работы в автономном режиме	19
13	Отметка о ревизии	23

Данный документ предназначен для:

клиентов, дилеров, партнеров по техническому обслуживанию, IB-партнеров, дочерних отделений и филиалов GE Jenbacher

Информация о праве собственности компании INNIO: КОНФИДЕНЦИАЛЬНО

Информация, содержащаяся в данном документе – конфиденциальная информация компании INNIO Jenbacher GmbH & Co OG и ее дочерних предприятий и не подлежит разглашению. Она является собственностью компании INNIO и не может использоваться, копироваться и передаваться третьей стороне без ее письменного разрешения. Это касается (но не исключительно) также использования информации для создания, изготовления, разработки, ремонта, модификации запасных частей, изменений конструкции и конфигурации или запросов об этом в государственных учреждениях. Если полное или частичное копирование было разрешено, то на всех страницах данного документа должны быть полностью или частично приведены ссылки на источник.

ПЕЧАТНЫЕ ИЛИ ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ НЕ КОНТРОЛИРУЮТСЯ

1 Область применения

Данная техническая инструкция (ТА) действительна для следующих газовых двигателей Jenbacher:

- Производственный ряд 2
- Производственный ряд 3
- Производственный ряд 4
- Производственный ряд 6

, которые оснащены опцией автономного режима работы.

2 Назначение

3 Дополнительная информация

Действующие стандарты и директивы:

Если не указано иное, то данный документ опирается на актуальные издания указанных здесь стандартов и директив (напр., ISO 8528-5). Если для дополнительных пояснений в этом документе упоминаются предыдущие издания, то они дополнительно обозначаются годом издания (напр., ISO 8528-5:2018).

Сопутствующие документы:

ТА 1000-0001 – Качество топлива – дизельное топливо

ТА 1000-0300 – Требования к топливному газу и подаваемому в смесь воздуху

ТА 1503-0057 – Эксплуатация двигателя в автономном режиме с регулятором GEN2

ТА 1530-0182 – Снижение мощности генератора и управление реактивной мощностью

ТА 2108-0025 – Автономный режим – двигатели внутреннего сгорания с DIA.NE (серия 3)

ТА 2108-0026 – Автономный режим – двигатели внутреннего сгорания с DIA.NE (производственный ряд 6)

ТА 2108-0029 – Автономная работа газовых моторов внутреннего сгорания с DIA.NE (ПР4)

ТА 2108-0030 – Обособленный режим J208 с DIA.NE XT

ТА 2108-0032 – Автономный режим J920 с DIA.NE XT

ТА 2108-0033 –

ISO 8528-2

ISO 8528-5
ISO 8528-12
DIN VDE 0100

4 Определение

4.1 Общее определение автономного режима

Автономный / аварийный / резервный режим имеет место тогда, когда установка должна обеспечивать электроснабжение потребителей без коммунальной электросети (см. рис. 1). Как только это происходит, частота и напряжение сборной шины должны удерживаться в определенных пределах.

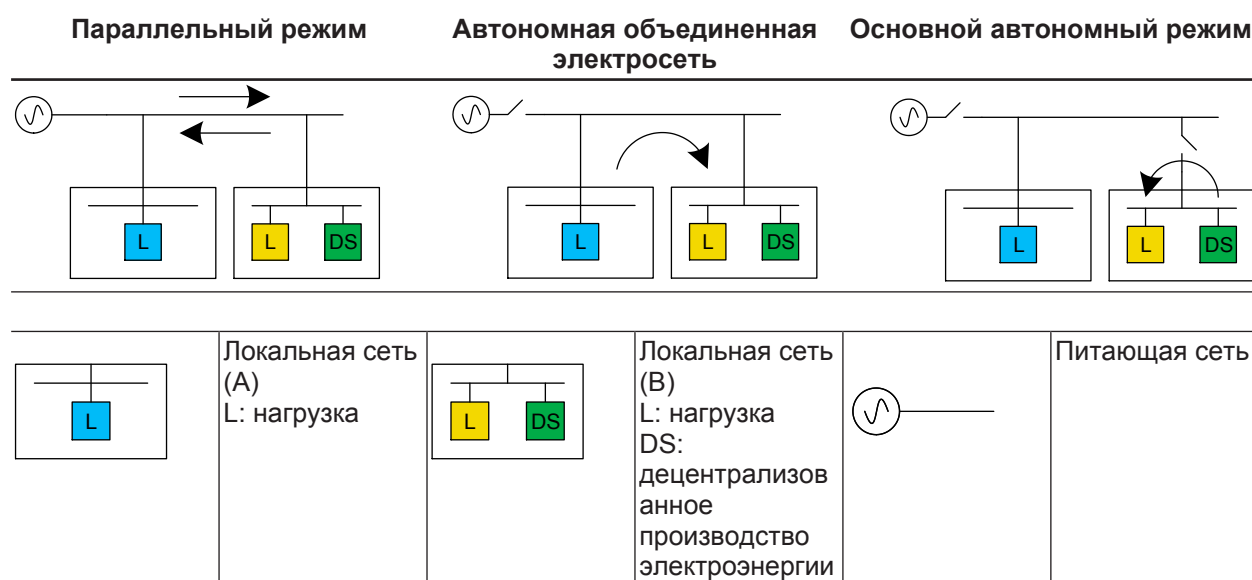


Рисунок 1: Конфигурации сети

Если потребители снабжаются энергией от генератора, приводимого в действие поршневым двигателем внутреннего сгорания (далее обозначается как агрегат), то регулирование частоты осуществляется через частоту вращения двигателя. Для регулирования напряжения используется интегрированный в генератор регулятор напряжения (Automatic Voltage Regulator – AVR). Для производственного ряда 3 с газовым дозатором TecJet, а также для производственного ряда 4 начиная с июня 2019 г. доступна новая базирующаяся на моделях система регулирования частоты. Эта система регулирования описывается в **ТА 1503-0057**.



ТА 1503-0057 – Эксплуатация двигателя в автономном режиме с регулятором GEN2

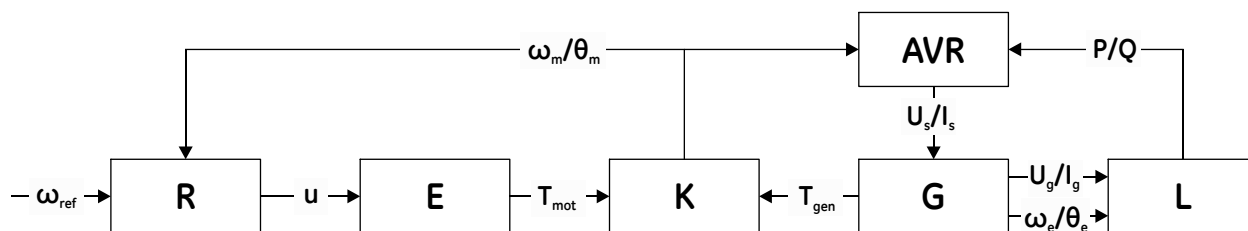


Рисунок 2: Автономная работа

E	двигателей Jenbacher	L	Нагрузка
K	Муфта	AVR	Автоматический регулятор напряжения
R	Регулятор	G	Генератор
u	Регулируемая величина	U_s/I_s	Напряжение/ток возбуждения
ω_e/θ_e	Электрическая частота вращения/ угловое положение генератора	U_g/I_g	Напряжение/ток генератора
ω_m/θ_m	Механическая частота вращения/угловое положение генератора	T_{gen}	Крутящий момент генератора
ω_{ref}	Заданное значение частоты вращения	T_{mot}	Крутящий момент двигателя
P/Q	Активная мощность/реактивная мощность		

В установках с несколькими двигателями в автономной системе напряжение и частота регулируются только у части либо у всех агрегатов. В этом случае активная и реактивная мощности регулируются системой управления нагрузкой. Составляющая с малой мощностью в этой системе также может регулироваться только по мощности. При этом динамики регулирования мощности соответствующих двигателей должно быть достаточно для уверенного следования в некоторых ситуациях очень быстрым изменениям заданных значений.

4.2 Действующие стандарты и директивы

Если не указано иное, то данный документ опирается на актуальные издания указанных здесь стандартов и директив (напр., ISO 8528-5). Если для дополнительных пояснений в этом документе упоминаются предыдущие издания, то они дополнительно обозначаются годом издания (напр., ISO 8528-5:2018).

5 Категории автономного режима

Резервный режим	Автономный режим двигателя предусмотрен только на время выпадения сетевого питания и не является постоянным режимом работы.
Основной (100% автономия)	Двигатель в автономном режиме является основным источником энергии для потребителей. При этом как сеть, так и, например, дополнительные агрегаты могут служить резервным источником энергии.
Аварийный	То же самое, что и резервный, однако с более жесткими требованиями к скорости запуска (например, холодный пуск в течение 15 с) и готовности к работе.

Автономные сети	Двигатель работает в составе локальной сети, не связанной с коммунальной электросетью. Это накладывает особые требования на длительность прерываний, на сброс/наращивание нагрузки и предоставление резервных мощностей (n-1).
Теплицы¹⁾	Очень плавное увеличение нагрузки из-за относительно слабых потребителей, однако со сложными системами регулировки мощности при подключении и распределении нагрузки. Двигатель работает чаще всего на 100% номинальной мощности, поскольку нагрузка поднимается достаточно малыми для этого шагами.
Системы аварийного пожаротушения¹⁾ (режим спринклеров/ аварийный пожарный режим)	Двигатель предназначен для питания пожарных насосов. Должны соблюдаться особые требования к времени до первого подключения нагрузки. Двигатель должен быть готов к работе даже при наличии ошибок и ни в коем случае не должен отключаться по причинам низкого приоритета в ходе тушения пожара.

¹⁾ Если имеется

6 Факторы воздействия в автономном режиме

Динамика агрегата подвержена влиянию ряда факторов. Характеристики частоты вращения и напряжения при резких изменениях нагрузки определяются механическими и электрическими свойствами. Для указания частоты и напряжения агрегата при изменении нагрузки необходимо рассчитать максимальную мощность включения и отключения. В том числе следует учитывать:

- Коэффициент одновременности потребителей
- Рабочие повторно-кратковременные значения мощности

Необходимую номинальную мощность агрегата можно определить, только зная снабжаемые электропотребители. При этом, прежде всего, следует учитывать резкое повышение нагрузки при включении таких потребителей, как лифты, насосы, вентиляторы, осветительные установки и различные нелинейные потребители. Если основанный на этом профиль нагрузки известен, в последующих расчетах должны быть учтены следующие пункты:

6.1 Нарращивание нагрузки

Способность принятия нагрузки агрегатом зависит, наряду с настройкой регулятора частоты вращения, от эффективного среднего давления двигателя (ВМЕР) при номинальной частоте и номинальной мощности, динамики газотурбинного нагнетателя, динамики дозирования газа, а также от свойств и настроек регулятора генератора (AVR). Также значительное влияние оказывают моменты инерции масс двигателя и генератора. При этом действует общее правило, что большие моменты инерции масс генераторов повышают доступную нагрузку и ведут к сокращению отклонений частоты.

Поскольку зависимость всех факторов невозможно учесть в числовом выражении, необходимо указать рекомендованные средние значения для подключения нагрузки, где в качестве критериев используется максимально допустимое резкое падение частоты и максимальная посадка напряжения.

Из-за высокого среднего давления газовых двигателей Jenbacher необходимо ограниченное каскадное подключение нагрузки (см. ISO 8528-2). Допустимое время между ступенями мощности зависит от указанных выше факторов влияния, поэтому при необходимости с владельцем установки должен быть согласован подходящий временной профиль нагрузки. При необходимости подключения нагрузки в несколько ступеней следует учитывать в системе управления нагрузкой необходимую для этого схему в оборудовании потребителя. Критерием выступают действительные значения динамических отклонений частоты и напряжения при смене нагрузки.

Между этапами подключения нагрузки агрегату, в зависимости от размера, требуется от нескольких секунд до нескольких минут для стабилизации – в первую очередь температурной. Это требование является обязательным, особенно при запуске неразогретых двигателей. Точные значения для дизельных и газовых двигателей отличаются.

Во избежание перегрузки и выхода из строя агрегата имеющаяся потребляемая мощность оборудования потребителя в момент принятия мощности не должна превышать рекомендуемую мощность агрегата соответствующего производственного ряда.

6.2 Сброс нагрузки

Реакция агрегата, работающего на газе, после сброса нагрузки тоже зависит от приведенных выше факторов влияния. В некоторых газовых двигателях с наддувом за счет топливовоздушной смеси заранее задается максимальный допустимый сброс нагрузки с целью минимизации риска помпажа турбокомпрессора или вспышек.

Предельные значения сброса нагрузки указываются по производственным рядам (см. соответствующую ТА для определенного производственного ряда). Дополнительную информацию см. в главе ⇒ Сброс нагрузки.

7 Факторы воздействия в автономной сети (установки с несколькими двигателями)

На характеристики частоты и напряжения в многомоторном автономном режиме могут, среди прочего, влиять:

- Распределение нагрузки
- Внутренняя или внешняя установка варьирующегося заданного значения частоты вращения (speed droop) для регулятора
- Динамические характеристики отдельных двигателей в соответствии с описанием выше
- Статические настройки регуляторов напряжения (voltage droop и спад напряжения)
- Динамическая характеристика генератора с учетом характеристик демпфирования в заданной сети.

Подробное описание факторов воздействия при распределении активной и реактивной мощностей согласно ISO 8528-5 содержится в **ТА 1530-0182**.



ТА 1530-0182 – Снижение мощности генератора и управление реактивной мощностью

Когда в одной сети работают генераторы энергии различных типов (разных производителей или разных способов производства энергии), помимо частичных линий нагрузки или регулирования степени пропорциональности (speed droop) дополнительные возможности предоставляет вышестоящая система управления нагрузкой, целесообразность которой, однако, зависит от конкретного проекта. Дополнительные пояснения можно найти в главе ⇒ Запуск из обесточенного состояния.

8 Оценка эффективности автономного режима

Эксплуатационные характеристики агрегата с поршневым двигателем внутреннего сгорания оцениваются в общих случаях в соответствии с ISO 8528-5.

В зависимости от применения согласно ISO 8528-5 различают несколько классов исполнения по автономной мощности: G1-G4. Приведенные числовые значения являются предельными значениями, которые, если не указано иное, запрещается превышать (см. также таблицу 1 ниже). Они относятся также к двигателям внутреннего сгорания согласно определению в ISO 8528-5.

Класс исполнения электрогенераторной установки соответствует назначению тогда, когда соблюдаются все пределы для этого класса. Если Заказчик желает изменить установленные пределы с целью повышения качества, это должно быть согласовано в письменном виде. Для подобных особых соглашений в ISO 8528-5 предусмотрен класс G4.

Таким образом, класс G4 определяется в соответствии с требованиями Заказчика (KSA) и для газовых двигателей Jenbacher задается с $\pm 7\%$ для динамических отклонений частоты и напряжения без учета времени регулирования в диаграммах автономного режима различных производственных рядов двигателей. Эти пределы можно изменить для конкретного задания.

Характеристики электрогенераторных установок, предназначенных для бесперебойного электропитания больниц или иных строений для большого скопления людей (по DIN VDE 0100, части 710 и 718), оцениваются по ISO 8528-12. В обоих случаях особое внимание уделяется соблюдению заданной длительности прерывания/перехода. Критерии оценки по ISO 8528-12 соответствуют критериям ISO 8528-5.

Таблица 1: Выдержка рабочих пределов для классов исполнения по ISO 8528-5:2018. Для полной оценки воспользоваться таблицей 4 в главе 15.2 стандарта.

Параметры	Символ	Ед. измерения	Предельные значения			
			G1	G2	G3	G4
Диапазон отклонения частоты для оценки продолжительности регулирования после скачков напряжения	α_f	%	3,5	2	2	Требование Заказчика
Постоянный диапазон частот	β_f	%	$\leq \pm 2,5$	$\leq \pm 1,5$	$\leq \pm 0,5$	Требование Заказчика
Переходные колебания частоты после прироста нагрузки для:						
• Газовые двигатели внутреннего сгорания	δ_{dyn}^-	%	≤ -25	≤ -20	≤ -15	Требование Заказчика
• Дизельные двигатели	δ_{dyn}^-	%	≤ -15	≤ -10	≤ -7	Требование Заказчика
Переходные колебания частоты после снижения нагрузки	δ_{dyn}^+	%	$\leq +18$	$\leq +12$	$\leq +10$	Требование Заказчика
Время регулирования частоты после прироста нагрузки	$t_{f,zu}$	с	≤ 10	≤ 5	≤ 3	Требование Заказчика
Время регулирования частоты после снижения нагрузки	$t_{f,ab}$	с	≤ 10	≤ 5	≤ 3	Требование Заказчика
Статические колебания частоты	δU_{st}	%	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 2,5$	$\leq \pm 1$	Требование Заказчика
Динамические колебания напряжения после прироста нагрузки	δU_{dyn}^-	%	≤ -25	≤ -20	≤ -15	Требование Заказчика

Параметры	Символ	Ед. измерения	Предельные значения			
			G1	G2	G3	G4
Динамические колебания напряжения после снижения нагрузки	δU_{dyn}^+	%	$\leq +35$	$\leq +25$	$\leq +20$	Требование Заказчика
Время регулирования напряжения после прироста нагрузки	$t_{U, \text{zu}}$	с	≤ 10	≤ 6	≤ 4	Требование Заказчика
Время регулирования напряжения после снижения нагрузки	$t_{U, \text{ab}}$	с	≤ 10	≤ 6	≤ 4	Требование Заказчика

9 Диаграммы наращивания/снижения нагрузки для автономного режима

Диаграммы наращивания/снижения нагрузки для каждого производственного ряда или типа двигателя приведены в следующих Технических инструкциях:

- газовые ДВС, производственный ряд 2 - J208 с DIA.NE XT: TA 2108-0030;
- газовые ДВС, производственный ряд 3 с DIA.NE XT: TA 2108-0025;
- газовые ДВС, производственный ряд 4 с DIA.NE XT: TA 2108-0029;
- газовые ДВС, производственный ряд 6 с DIA.NE XT: TA 2108-0026;
- газовые ДВС, производственный ряд 9 с DIA.NE XT: TA 2108-0032;
- дизельные двигатели, производственный ряд 6 с DIA.NE XT: TA 2108-0033.

По оси Y эти диаграммы показывают допустимую для подключения активную мощность – «блочную нагрузку» (как положительную, так и отрицательную) в зависимости от актуальной активной мощности – «базовой нагрузки» (на оси X) для различных классов по ISO 8528-5.

Параметры указаны в процентах номинальных значений (с учетом указанных ограничений) мощности, частоты и $\cos\phi=1$ версии двигателя согласно программе продукции.

9.1 Диаграммы наращивания/снижения нагрузки

Диаграммы наращивания/снижения нагрузки в Технических инструкциях для соответствующего производственного ряда действительны для разогретых двигателей.

В этих диаграммах представлены классы исполнения G1 - G4, а также предельная мощность (см. примеры диаграмм для частоты подключения нагрузки на рис. 3 и способности сброса нагрузки на рис. 4). При этом предельной считается мощность, которая с учетом предельных значений минимальной и максимальной частоты и минимального и максимального напряжения могла бы быть подключена без угрозы выключения двигателя. Показанные линии обозначают максимально допустимую для наращивания или снижения мощность, которая отвечает соответствующим предельным значениям класса исполнения. Для тех случаев, когда к характеру подключения/отключения ставятся особые требования, следует рассмотреть дополнительные технические меры (выбор шагов отключения, регулировка сетевого потребления, координация нагрузки).

В Технических инструкциях для автономного режима, относящихся к конкретному производственному ряду, диаграммы (2) для подключения и отключения нагрузки приводятся с учетом и без учета продолжительности регулирования частоты и напряжения. Для дизельных агрегатов продолжительность регулирования напряжения учитывается всегда. Вторая форма

представления учитывает критерий максимального резкого падения частоты (см. Приложение А). Ось X соответствует исходной (базовой) нагрузке, ось Y – допустимому приросту (блочная нагрузка), обе величины указываются в процентах [%] номинальной мощности.

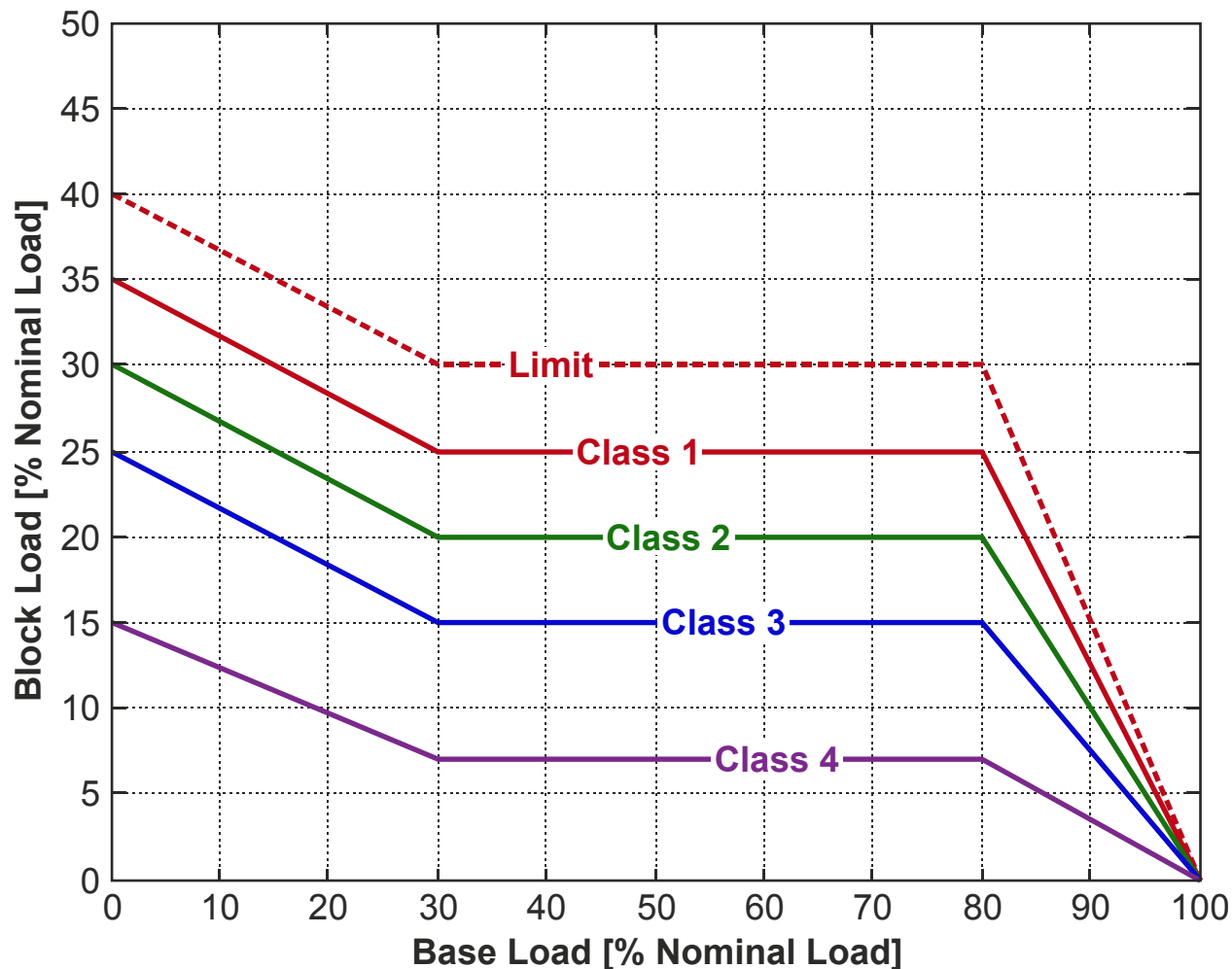


Рисунок 3. Диаграмма прироста нагрузки

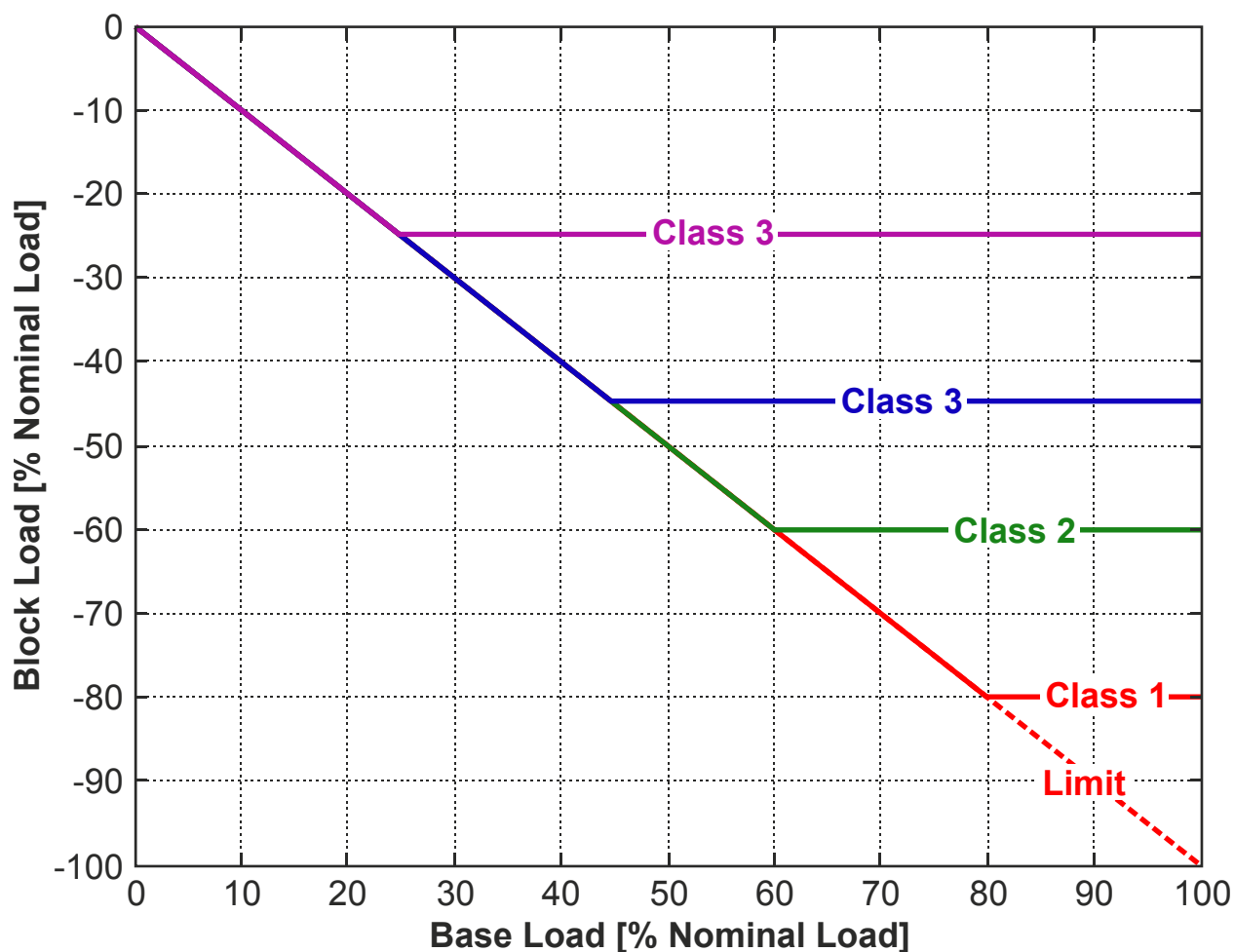


Рисунок 4. Диаграмма снижения нагрузки

9.2 Сброс нагрузки

Газовые двигатели:

Как правило, при переходе от параллельного к автономному режиму работы, а также в ходе автономного режима, происходят резкие и неожиданные для агрегата снижения нагрузки. Из-за оптимизированной конструкции турбокомпрессора это может сопровождаться помпажом. Для двигателей производственного ряда 6 действительны особые пределы по отключаемой мощности, см. **ТА 2108-0026** «Отключаемая мощность».



ТА 2108-0026 – Автономный режим – двигатели внутреннего сгорания с DIA.NE (производственный ряд 6)

Дизельные двигатели:

При переходе от параллельного с сетью к автономному режиму работы, а также и в ходе автономного режима, дизельным двигателям с непосредственным впрыском не нужны ограничения в результате сброса нагрузки. (100 % сброса нагрузки можно достичь без завышенной частоты вращения)

10 Питание установок бесперебойного электроснабжения

Определение класса исполнения (глава ⇒ Оценка эффективности автономного режима) зависит от присоединяемых в автономном режиме потребителей и поэтому задается Заказчиком. На этом основываются максимальные возможные подключения мощности с соблюдением специфицированного класса исполнения. Поэтому точное согласование этой задачи с Заказчиком необходимо уже на стадии составления коммерческого предложения и предварительного проектирования. При этом фиксируют тип и мощность потребителей электроэнергии, а также их стартовые и рабочие характеристики. Для приводов с электродвигателем важна стартовая активная мощность, которая определяет вращающий момент, действующий на вал двигателя. Это значение зависит от типа электродвигателя и от условий запуска (звезда-треугольник, плавный или тяжелый пуск, привод с тиристорной регулировкой и т.п.).

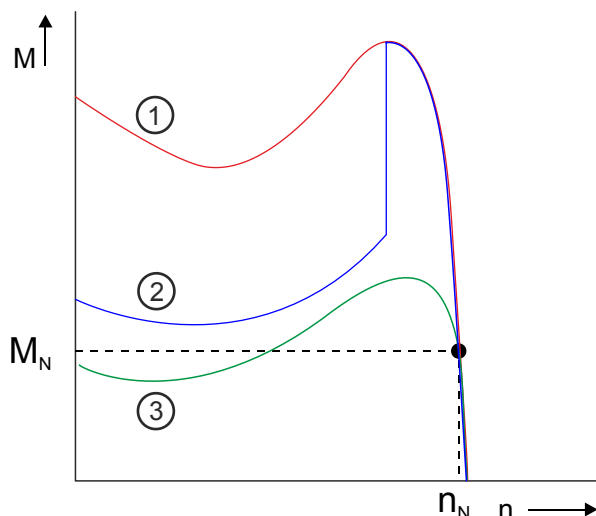


Рисунок 5. Вращающий момент при запуске электродвигателя.

①	Прямой пуск
②	Звезда-треугольник
③	Плавный пуск

Газовые агрегаты

Важно также учесть, что в автономном режиме потребление электроэнергии отдельными «вращающимися» потребителями с относительно высоким моментом инерции J (большие вентиляторы, насосы и т. п.) не должно превышать 40 % номинальной мощности агрегата. Кроме того, стартовый реактивный ток электродвигателей во много раз превышает номинальное значение. Эта граница определена на основании эмпирических данных; при превышении ее агрегат и потребитель начинают влиять друг на друга. В таких случаях необходимы дополнительные меры, которые разрабатываются с помощью моделирования ситуации. Применяются методы анализа потоков мощности, которые могут формироваться на базе специальных разрешений и соответствующих предоставляемых данных потребляющей установки INNIO Jenbacher GmbH & Co OG.

В автономном режиме при работе нескольких двигателей часто возникает ситуация, когда первый агрегат должен снабжать потребителей, пока остальные агрегаты синхронизируются со сборной шиной. В этих случаях особо важно обеспечить такие условия, в которых изменения нагрузки в процессе синхронизации минимальны (не более 2 % номинальной нагрузки агрегата). Чем чаще нужны такие изменения мощности, тем больше времени занимает синхронизация.

Поскольку характеристики тока и $\cos(\phi)$ потребителей влияют на динамику двигателя, их необходимо выяснить при каждом особом запросе заказчика и подтвердить INNIO Jenbacher GmbH & Co OG.

Дизельные агрегаты

В дизельных агрегатах частота вращения двигателя стабилизируется в результате впрыска топлива и поэтому может контролироваться в пределах небольшого диапазона частоты вращения. (Абсолютная погрешность < 5 об/мин). В этой связи полная синхронизация может быть достигнута через несколько секунд.

10.1 Питание установок бесперебойного электроснабжения (USV)

При электроснабжении установок бесперебойного питания должны быть использованы предоставляемые ими возможности (например, ступенчатое наращивание, трапециевидная нагрузка). Таким образом, можно избежать резких скачков нагрузки, что более благоприятно для агрегатов с точки зрения графика нагрузки. Макс. допустимые отклонения напряжения и частоты на входе установок бесперебойного питания обычно ограничены узкими полями допуска. Это обстоятельство обязательно должно быть учтено.

10.2 Параллельная работа с установками USV

Различные характеристики напряжения и различия динамических свойств (регулировка частоты агрегата работает по принципу «вращающейся массы», в установках бесперебойного питания применяют безынерционную электронную регулировку частоты) не позволяют использовать стандартное программное обеспечение для параллельного режима работы. В таких случаях необходимо выяснить особенности проекта и внести соответствующие коррективы.

10.3 Время работы в резервном режиме – 15 с в соответствии с DIN VDE 0100 часть 710 или часть 718

Резервное электроснабжение потребителей в течение 15 с согласно упомянутым нормам могут обеспечивать газовых двигателей Jenbacher производственных рядов 2, 3 и 4, однако это согласовывается отдельно для каждого проекта (специальное разрешение). Особенности вспомогательных систем ПР 6 в общих случаях не позволяют использовать эти двигатели для резервного электроснабжения без уточнения индивидуальных условий проекта.

10.4 Плавное намагничивание трансформаторов

Если в режиме холодного пуска необходимо выводить на рабочие характеристики трансформаторы, то во избежание перегрузки агрегата должны быть учтены их мощность холостого режима. Рекомендуемое значение для трансформаторов – **номинальная мощность большая или равная 2 значениям номинальной мощности генераторов**. Однако в соответствии со стандартами должен применяться следующий способ.

Когда нагрузка в автономном режиме высока, например, при снабжении мощных трансформаторов, такую нагрузку нельзя подключать напрямую из-за высоких пусковых токов. Выход – плавное намагничивание. Агрегат запускают, возбуждение генератора снимается, после чего возбуждение активируется уже при включении выключателя генератора. При такой процедуре возможен вывод мощностей трансформаторов (=сумма всех подключенных трансформаторов) до десятикратной кажущейся мощности генератора.

10.5 Запуск из обесточенного состояния

Запуск из обесточенного состояния происходит, когда установка полностью отключена от коммунальной электросети. Газовый двигатель INNIO Jenbacher в этой ситуации является первичной приводной машиной и должен посредством вспомогательной энергии 24 В DC из пусковых батарей обеспечить пуск двигателя и при номинальных оборотах замкнуть выключатель генератора, чтобы подать напряжение на установку-потребитель.

Запуск из обесточенного состояния может выполняться остановленным двигателем (прогретый пуск) или сразу после выключения двигателя (горячий пуск).

10.6 Параллельная работа нескольких агрегатов

Распределение реактивной нагрузки между используемыми генераторами должно обеспечиваться статикой напряжения и идентичным изгибом кривой понижения напряжения. Кроме этого, должен быть учтен коэффициент укорочения шага обмотки соединенных звездой генераторов. При разных показателях следует использовать дроссели в точке звезды. Также возможно реализовать внешнее значение коррекции напряжения (90-110% номинального напряжения) через вышестоящую систему управления реактивной нагрузкой.

При параллельной работе агрегатов Jenbacher часто применяются так называемые частичные линии активной нагрузки. Они позволяют настраивать желаемое распределение нагрузки между отдельными агрегатами. При различной нагруженности таких частичных линий следует рассмотреть использование измерительных преобразователей. Кроме того, существует возможность контролируемого распределения нагрузки через регулирование по степени пропорциональности (speed droop) или задание внешнего смещения заданного значения частоты вращения от вышестоящей системы управления установки или станции.

10.6.1 Степень пропорциональности (статика частоты вращения или частоты, speed droop)

В этом случае частота вращения двигателя изменяется посредством крутизны прямой «мощность-градиент» (speed droop) для обеспечения необходимого процента номинальной нагрузки (ограниченное вводное значение через шину или аналоговый вход) в качестве автономной нагрузки. Изменение наклона позволяет сильнее нагружать более мощные двигатели (например, дизельные агрегаты). Также существует возможность изменения точки пересечения (droop offset) между статикой частоты вращения и номинальной частотой вращения с помощью внешнего сигнала (ограниченное вводное значение через шину или аналоговый вход). За счет этого можно обеспечить, что автономная система при номинальной нагрузке будет работать с номинальной частотой вращения. Нельзя допускать, чтобы настройки степени пропорциональности оказывали негативное воздействие на динамику установки (частоту и напряжение). Следует учитывать, что возникающие снижения мощности на двигателе ведут к ограничению внешних вводных сигналов.

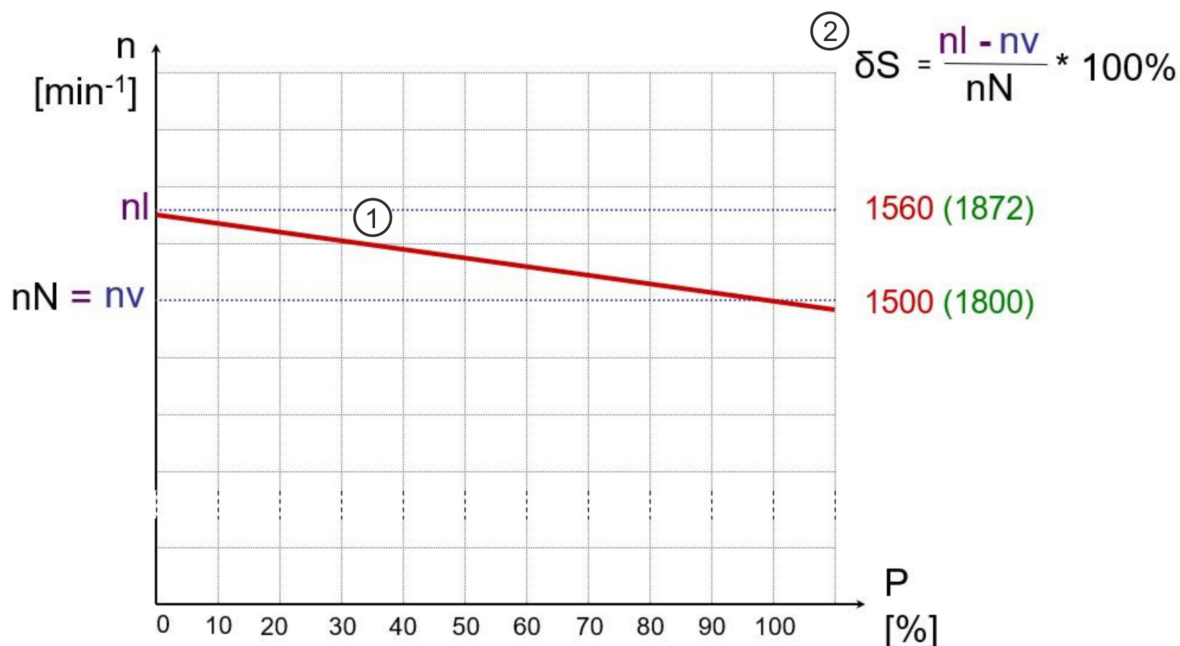


Рисунок 6. Статика частоты вращения

①	Статика частоты вращения с повышением 4% (δS)
②	Функция статик частоты вращения n_l → заданное значение частоты вращения при работе двигателя без нагрузки n_v → заданное значение частоты вращения в режиме полной нагрузки n_N → частота вращения двигателя

10.6.2 Частичная линия активной нагрузки (одновременный режим)

В стандартном исполнении частичной линии нагрузки INNIO Jenbacher каждый агрегат сигнализирует произведенную им мощность выходным mA-сигналом и регистрирует среднюю мощность всех двигателей через mA-вход. Оба сигнала находятся в диапазоне 4...16 mA и соответствуют 0...100% номинальной мощности соответствующего агрегата. Может настраиваться процентное распределение между двигателями (стандартная настройка: равномерное распределение). При подключении/отключении очередного двигателя мощность увеличивается/снижается по временной линейной характеристике

При использовании этого варианта частичной линии нагрузки на установках с двигателями разных производителей должны учитываться разные масштабы и входные сопротивления входов и выходов систем управления двигателями. Следует учитывать, что возникающие снижения мощности на двигателе влияют на распределение мощности.

10.6.3 Частичная линия реактивной нагрузки (статика напряжения, voltage droop)

Станции с несколькими двигателями поставляют необходимую для потребителей реактивную мощность равномерно от всех входящих в сеть генераторов. Распределение осуществляется через настройку «статик напряжения». При этом настройка всех генераторов по номинальному напряжению, статике напряжения (типичное значение 3 %), «колену напряжения» (начальная точка, крутизна, задержка) и времени реакции АРН должна быть одинаковой. Отличие настроек может привести к скольжению полюсов и повреждению генератора. В качестве альтернативы может быть задан внешний коэффициент коррекции напряжения от системы управления реактивной нагрузкой. Это значение ограничивается диапазоном 90-110%. Также ограничивается максимальное возможное изменение внешнего вводного значения с течением времени

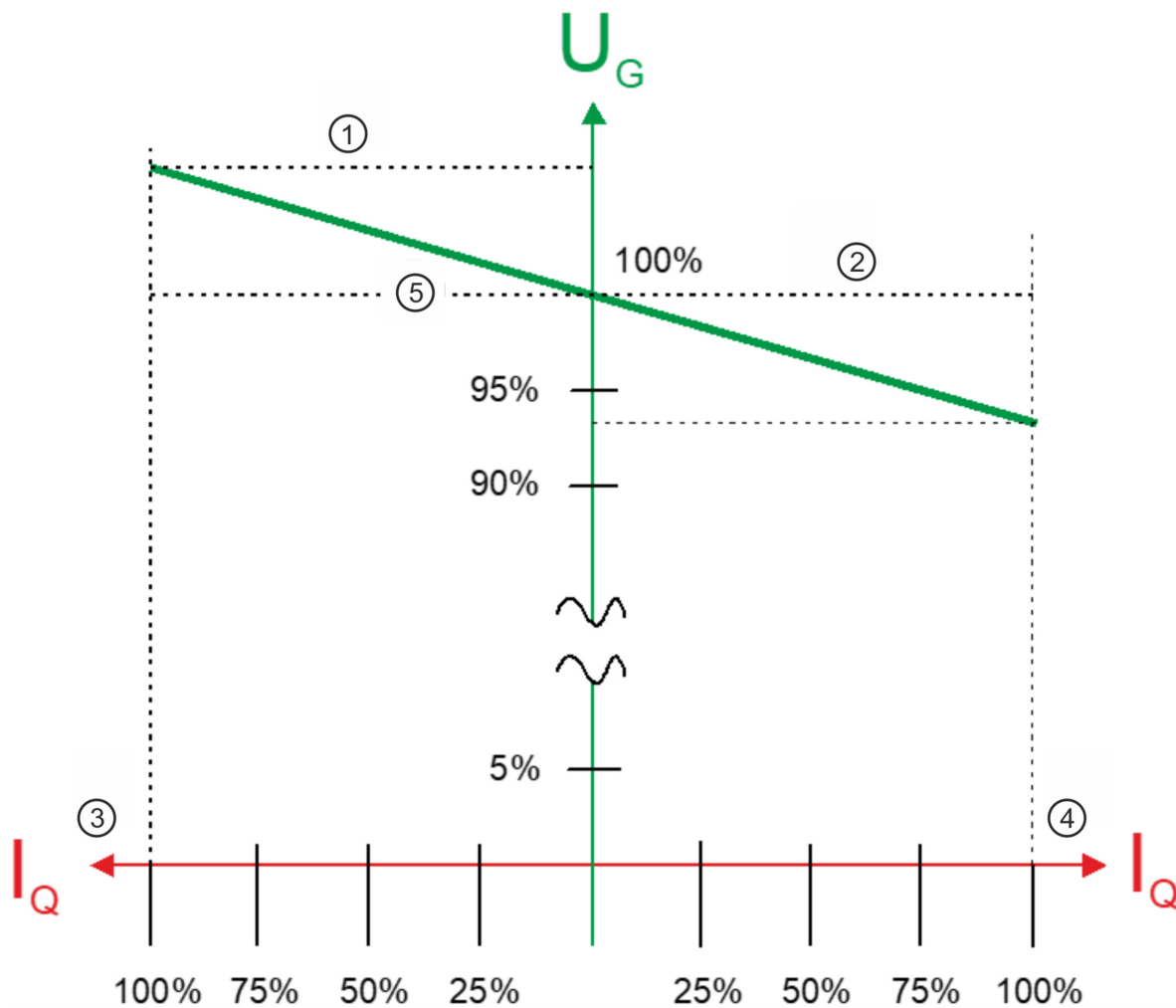


Рисунок 7. Распределение реактивной нагрузки

①	Недовозбужденный режим генератора	③	Перевозбужденный режим генератора
②	Прием	④	Отдача
⑤	Статика напряжения с повышением 6% (стандартно 3%)		
U_G	Напряжение генератора	I_Q	Реактивный ток генератора (реактивная мощность)

10.6.4 Система управления нагрузкой

Когда в одной сети участвуют электроагрегаты различного типа (газовые и дизельные двигатели, газовые турбины, гелиоустановки, гидротурбины, ветряные турбины и батареи) или хотя бы несколько агрегатов одного типа, такую сеть называют мини- или микроэлектросетью. В таких случаях нельзя обойтись без моделирования сети; целесообразно использовать энергонакопители. На стадии анализа конкретных проектов необходимо учесть такие входные данные системы, как инерционность отдельных элементов и передаточные функции для двигателя, регуляторов и генератора. По этим данным можно выбрать один из описанных выше

или иной метод присоединения нагрузки и построить модель микросети. К особенно стабильным и мощным базовым генераторам энергии, находящимся в режиме регулирования по частоте вращения, могут подключаться менее мощные агрегаты в режиме регулирования по мощности.

Основное правило в данном случае: **соотношение инерционности модулей не менее 2:1**. Если к установке предъявляются высокие технические требования, характеристики должны быть проверены путем моделирования.

Для применения вышестоящей системы управления нагрузкой может использоваться вход для подключения внешнего заданного значения смещения частоты вращения. Следует учитывать, что возникающие снижения мощности на двигателе ведут к ограничению внешних вводных сигналов. Текущее максимальное возможное повышение нагрузки для отдельного двигателя выводится в качестве выхода системы управления двигателем. При этом учитываются все актуальные сокращения мощности.

10.7 Данные, требующие особого внимания

10.7.1 Состояние выключателей как показатель рабочего состояния – задержка

Текущее состояние двигателя регистрируется по ответам от выключателя генератора и выключателя сети. В особо важных переходных состояниях для своевременного активирования регулирующих функций необходим максимально скорый ответ выключателей.

В определенных условиях эксплуатации именно такой незамедлительный ответ затруднителен. Следует учитывать, что могут использоваться только выключатели низкого и среднего напряжения с собственным временем <60 мс. Если эти ответные сообщения передаются через дополнительные реле или вышестоящие системы управления (ПО), возникают дополнительные нежелательные задержки. Уже удвоение собственного времени выключателя может привести к останову двигателя из-за слишком высокой частоты вращения в процессе перехода от параллельного режима в автономный с малой нагрузкой. По этой причине ответные сообщения выключателей должны всегда выводиться напрямую в систему управления модуля.

10.7.2 Неизвестные нагрузочные условия у заказчиков – емкостные нагрузки:

Высокое соотношение индуктивных и емкостных нагрузок (например, в нижнем диапазоне нагрузки, когда подключены все компенсационные установки) может привести к непредусмотренному росту нагрузки на генератор, к скольжению полюсов и повреждению генератора. Поэтому необходимо обеспечить такие условия, чтобы генератор всегда работал в индуктивном диапазоне. *Наихудшие сценарии* можно исследовать посредством анализа устойчивости сети.

10.7.3 Регулировка сетевого потребления

Когда актуальная потребность снабжаемой установки регистрируется в точке передачи электроэнергии, регулировка сетевого потребления может оказаться целесообразной как с технической, так и с экономической точки зрения. При этом регистрируемая мощность обеспечивается двигателем внутреннего сгорания вплоть до определенной необходимой разницы, вследствие чего получается более мягкая (без рывков) характеристика перехода из сетевого в автономный режим работы.

10.7.4 Вспомогательные системы

При запуске двигателей ПР 6 и 9 в режиме резервного электроснабжения продув выхлопного тракта не проводится.

В этом случае максимальное время от запроса резервного электроснабжения до начала запуска двигателя (двигатель вращается) определяется прежде всего продолжительностью предварительного смазывания для конкретного производственного ряда.

11 Граничные условия

11.1 Номинальная нагрузка двигателя

Номинальная нагрузка для версии двигателя, указанная в продукционной программе, должна быть откорректирована по соответствующей диаграмме снижения. Полученное таким образом значение и является реальной величиной 100 % номинальной нагрузки, которая используется в диаграммах мощности как базовый параметр.

Форсированные версии двигателей в автономном режиме работают с исходной номинальной нагрузкой.

Для агрегатов, работающих на нескольких различных газах или на смеси газов, допустимы только те номинальные нагрузки, которые соответствуют используемому газу.

11.2 Уровень эмиссии газовых двигателей

Независимо от того, какие требования по уровню эмиссии предъявляются к параллельному режиму работы, в автономном режиме активная регулировка эмиссии ограничивает содержание вредных веществ в выхлопе на уровне $500 \text{ мг/Нм}^3 @5\%O_2 \text{ NO}_x$. Определенным параметром системы управления двигателем можно задать автоматическое переключение на более высокий уровень эмиссии при переходе в автоматический режим. Это ведет к некоторому улучшению регулируемости установки во всем диапазоне мощности, улучшению характеристик при подключении нагрузки и повышению коэффициента использования. Для параметров такого переключения предусмотрена возможность изменения, необходимости в этом, однако, нет.

Если уровень эмиссии должен быть ниже указанного значения, например, $250 \text{ мг/Нм}^3 @5\%O_2 \text{ NO}_x$, необходимо специальное разрешение.

11.3 Уровень эмиссии дизельных двигателей

И в параллельном, и в автономном режимах работы дизельных двигателей предусмотрен один и тот же уровень эмиссии. Он соответствует показателям выброса ОГ Всемирного банка для стационарных агрегатов, то есть максимум $1460 \text{ мг/м}^3 \text{ NO}_x$. Для достижения заданных целей относительно эмиссии таблицы управления настраиваются в автономном режиме.

11.4 Температура охлаждающей смеси воды, температура смеси

Диаграммы наращивания/снижения нагрузки действительны для той температуры смеси, которая указана в продукционной программе. Снижение температуры смеси улучшает характеристики установки при подключении нагрузки и повышает тем самым коэффициент использования.

11.5 Момент зажигания/синхронизация впрыска

Газовые двигатели

Момент зажигания в автономном режиме задается на 2° ниже параллельного режима. Диаграммы наращивания/снижения нагрузки действительны для принятых по умолчанию, стандартных значений момента (или угла) зажигания.

Дизельные двигатели

В дизельных двигателях момент зажигания сопоставим с синхронизацией впрыска.

11.6 Температура всасываемого воздуха

Диаграммы наращивания/снижения нагрузки действительны для той температуры всасывания, которая указана в производственной программе. Снижение температуры всасывания ведет к улучшению характеристик подключения нагрузки.

11.7 Противодействие выхлопа

Диаграммы наращивания/снижения нагрузки действительны для максимального противодействия выхлопа 60 мбар. Более низкое противодействие улучшает характеристики подключения нагрузки.

11.8 Автономный режим при работе на биогазе, свалочном и канализационном газе

Для двигателей производственных рядов 2, 3 и 4 использование биогаза, свалочного и канализационного газа в автономном режиме не требует специального разрешения. При использовании модулей, работающих на газе двух видов, необходимо выяснить особенности проекта в связи с разной калорийностью газа. Для работы на смешанном газе, равно как и смене газов на ходу, в автономном режиме необходимо специальное разрешение.

В процессе перехода от параллельного к автономному режиму работы должны быть соблюдены требования к постоянству качества и давления газа (см. ТА 1000-0300).

При запуске из обесточенного состояния питание газового компрессора должно быть обеспечено от внешнего источника.

Из-за нестабильности поступления газа использование газовых двигателей в автономном режиме работы на любом газе, кроме природного, запрещено, если эти двигатели служат для обеспечения электропитанием систем жизнеобеспечения!

11.9 Подача газа

Эксплуатационные свойства агрегатов обеспечиваются только при соблюдении стабильного качества и постоянного давления подачи газа (ТА 1000-0300).

Для обеспечения возможности запуска модуля из обесточенного состояния необходима подача газа надлежащего качества под достаточным давлением. Должно быть также обеспечено бесперебойное электропитание расположенных впереди по линии основных газовых клапанов. Условия допуска к запуску из обесточенного состояния двигателей производственного ряда 6 с форкамерой, которым нужна предварительная смазка и запуск подпиточного насоса, будут указаны в программе продукции (с 2012).

Поэтому при работе на нескольких газах для автономного режима должен быть предусмотрен самый надежный в указанном смысле газ.

11.10 Подача дизельного топлива

Эксплуатационные свойства агрегатов обеспечиваются только при подаче соответствующего дизельного топлива в диапазоне заданных предельных значений (ТА 1000-0001).

Обеспечить способность двигателя к запуску из обесточенного состояния можно только в условиях соответствующего качества дизельного топлива.

11.11 Генератор

Подключение/наращивание нагрузки сопровождается провалом частоты вращения. Для того, чтобы этот провал не вышел за пределы регулируемости данного класса, напряжение генератора намеренно динамически понижают по нисходящей линейной характеристике. Для установок с несколькими двигателями особо важна идентичная настройка такой характеристики для всех агрегатов.

Настройка нисходящей характеристики напряжения генератора (момент запуска и крутизна) определена по стандарту ISO 8528-5. Для INNIO Jenbacher GmbH & Co OG используются указанные ниже настройки.

Обычные настройки на примере двух агрегатов с различной номинальной частотой вращения:

1500 мин ⁻¹ ген. уст.	1800 мин ⁻¹ ген. уст.	
1500 – 1470 мин ⁻¹	1800 – 1764 мин ⁻¹	Номинальное напряжение
1370 мин ⁻¹	1644 мин ⁻¹	0,9 номинального напряжения

Иллюстрация «колена напряжения».

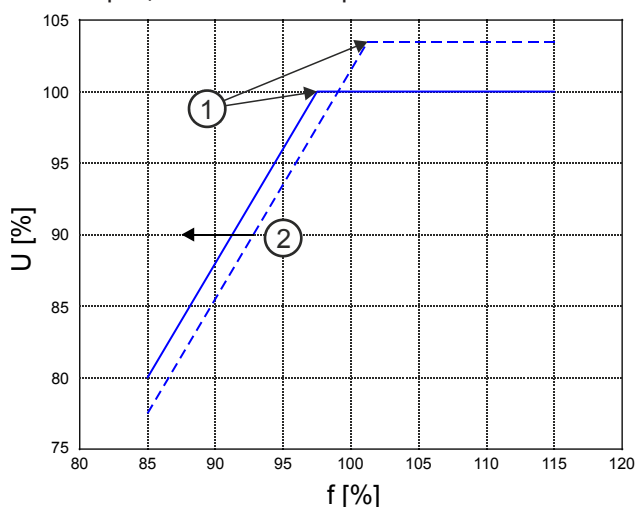


Рисунок 8. График зависимости между частотой и напряжением

U [%]	Напряжение [% от номинального значения]	①	«Колено напряжения»
f [%]	Частота [% от номинального значения]	②	Крутизна

При согласовании с потребителями можно поднять «колено» сверх 100 % номинальной частоты вращения (пунктирная линия) для повышения стабильности двигателя.

12 Приложение А. Параметры оценки эффективности работы в автономном режиме

А.1. Частота генератора

На статические и динамические показатели частоты влияет весь контур регулирования (система регулирования двигателя, характеристики двигателя, момент инерции масс и т.д.).

На рис. 9 представлены существенные параметры оценки стационарной и нестационарной характеристики частоты агрегата согласно ISO 8528-5. Характеристика частоты в каждом случае отображается после положительного и отрицательного скачка заданного значения частоты (speed droop). Показатели приведены в таблице 2.

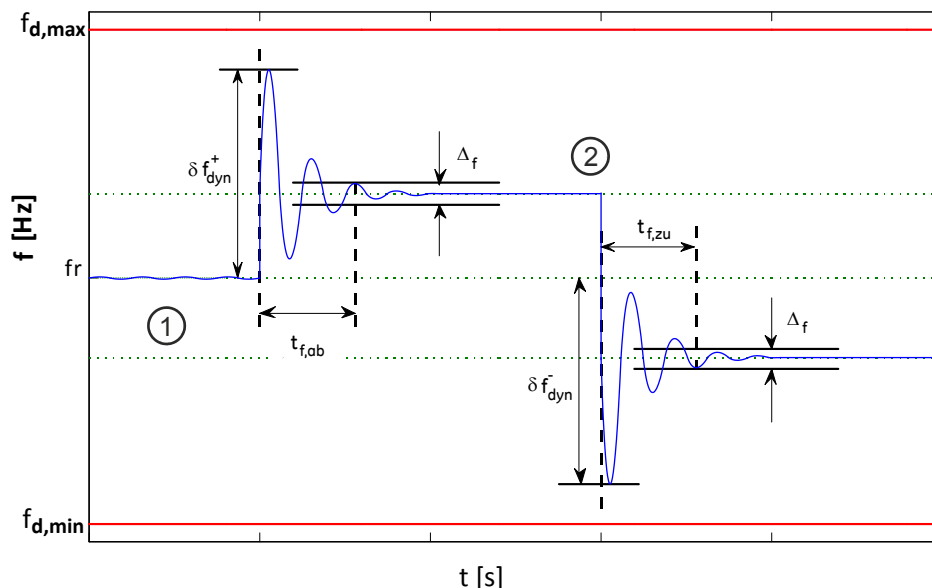


Рисунок 9. Характеристика регулирования частоты

f Частота	t Время
① Сброс нагрузки	② Наращивание нагрузки

Параметры	Символ	Ед. измерения	Описание
Диапазон отклонения частоты для определения продолжительности регулирования	α_f	%	Диапазон частот вокруг установившейся частоты, в который достаточно входит частота в период заданной продолжительности регулирования после наращивания или снижения нагрузки, выраженный в процентах от номинальной частоты. $\alpha_f = \frac{\Delta_f}{f_r} \times 100$
Постоянный диапазон частот	β_f	%	Диапазон колебания частоты вокруг постоянного среднего значения при постоянной мощности, выраженный в процентах от номинальной частоты.
Минимальное отклонение частоты	$f_{d,min}$	Гц	Минимально допустимое отклонение частоты после внезапного прироста нагрузки.
Максимальное отклонение частоты	$f_{d,max}$	Гц	Максимально допустимое отклонение частоты после внезапного снижения нагрузки.

Динамическое (временное) отклонение частоты (от частоты сети) после прироста нагрузки	δf_{dyn}	%	Временная разница частоты между минимальным отклонением частоты и номинальной частотой после внезапного прироста нагрузки во время процесса регулирования, выраженная в процентах от номинальной частоты. Нельзя допускать превышения динамического отклонения частоты от допустимого отклонения.
Динамическое (временное) отклонение частоты (от частоты сети) после снижения нагрузки	δf_{dyn}^*	%	Временная разница частоты между максимальным отклонением частоты и номинальной частотой после внезапного снижения нагрузки во время процесса регулирования, выраженная в процентах от номинальной частоты. Нельзя допускать превышения динамического отклонения частоты от допустимого отклонения.
Время регулирования частоты после прироста нагрузки	$t_{f, \text{zu}}$	с	Время между внезапным приростом нагрузки и остаточным вхождением частоты в постоянный интервал допуска.
Время регулирования частоты после снижения нагрузки	$t_{f, \text{ab}}$	с	Время между внезапным снижением нагрузки и остаточным вхождением частоты в постоянный интервал допуска.

А.2. Напряжение генератора

На характеристику напряжения агрегата влияет, в основном, характеристика напряжения генератора, и регулятора напряжения (при определенных обстоятельствах). На статическую характеристику и особенно на динамическую характеристику в номинальном диапазоне влияют также статическая и динамическая частотные характеристики агрегата. Это также зависит от индивидуальных параметров агрегата. На рис. 9 показаны предельные значения напряжения после положительного и отрицательного скачка заданного значения напряжения (voltage droop).

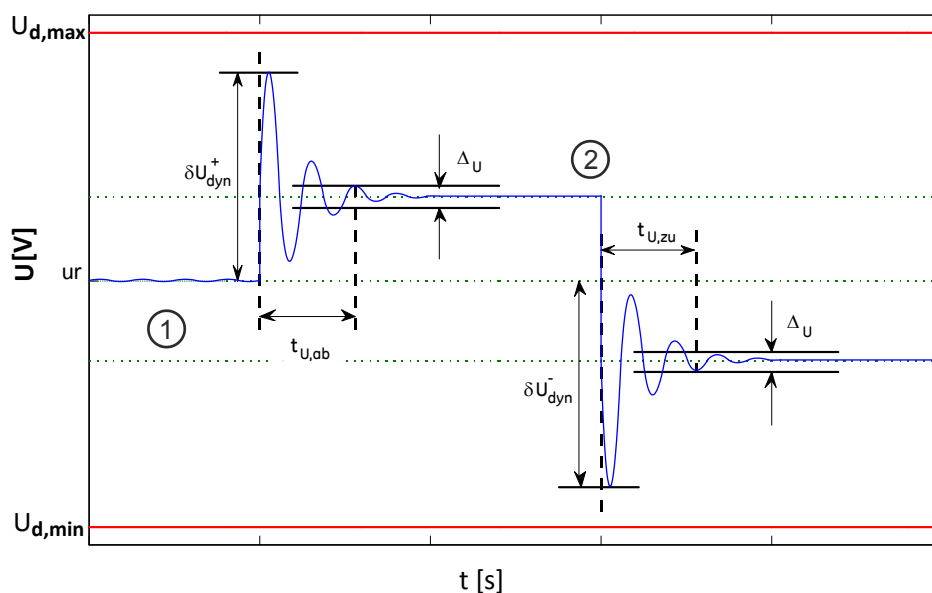


Рисунок 9. Характеристика регулирования напряжения

U Напряжение	t Время
① Сброс нагрузки	② Нарращивание нагрузки

Диапазон отклонения напряжения для определения продолжительности регулирования	ΔU	В	Диапазон частот вокруг установившегося напряжения, в который достаточно входит напряжение в период заданной продолжительности регулирования после наращивания или снижения мощности, выраженный в Вольтах. $\Delta U = 2\delta U_{st} \times \frac{U_r}{100}$
Статические колебания частоты	δU_{st}	%	Максимальное отклонение напряжения от номинального напряжения после завершения динамических процессов в диапазоне от холостого хода до номинальной мощности с учетом влияния нагрева и характеристики частоты агрегата. Статическое отклонение напряжения выражается в процентах от номинального напряжения: $\delta U_{st} = \pm \frac{U_{st,max} - U_{st,min}}{2U_r} \times 100$
Минимальное отклонение напряжения	$U_{d,min}$	В	Минимально допустимое отклонение напряжения после внезапного прироста нагрузки.
Максимальное отклонение напряжения	$U_{d,max}$	В	Максимально допустимое отклонение напряжения после внезапного снижения нагрузки.
Динамическое (временное) отклонение напряжения (после прироста нагрузки)	δU_{dyn}^-	%	Разница между минимальным предельным значением напряжения после внезапного повышения нагрузки и предельным значением номинального

			напряжения относительно предельного значения номинального напряжения. Указывается в процентах от номинального напряжения.
Динамическое (временное) отклонение напряжения (после снижения нагрузки)	δU_{dyn}^+	%	Разница между минимальным предельным значением напряжения после внезапного снижения нагрузки и предельным значением номинального напряжения относительно предельного значения номинального напряжения. Указывается в процентах от номинального напряжения.
Время регулирования напряжения после прироста нагрузки	$t_{U,zu}$	с	Время между внезапным приростом нагрузки и возобновлением, а также присутствием напряжения в пределах статического отклонения с учетом времени регулирования частоты. Примечание: Влиянию подвержены величина и временная характеристика динамического изменения частоты вращения двигателя.
Время регулирования напряжения после снижения нагрузки	$t_{U,ab}$	с	Время между внезапным снижением нагрузки и возобновлением, а также присутствием напряжения в пределах статического отклонения с учетом времени регулирования частоты. Примечание: Влиянию подвержены величина и временная характеристика динамического изменения частоты вращения двигателя.

13 Отметка о ревизии

Порядок изменений

Индекс	Дата	Описание/итоги изменений	Эксперта Проверил
6	31.07.2019	Generelle Überarbeitung aufgrund der Einführung der Gen2 Inselregelung / General adoption due to the introduction of Gen2 island operation	Mayer R. <i>Kopecek H.</i>
5	15.04.2019	GE durch INNIO ersetzt / GE replaced by INNIO	Opoku <i>Pichler R.</i>
4	19.12.2014	Anpassung an Diesel / Adaption to Diesel	Bacher/Attia <i>Hirzinger-Unterrainer</i>
3	05.03.2012	Überarbeitung / revision	Bilek <i>Graus</i>
2	16.02.2011	Komplette Überarbeitung / complete revision	Provin <i>Samiento</i>

