



**ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ**



Разработчик: В.В. Шестакова

Современные технологии

Кинетические накопители энергии

Преподаватель: Шестакова Вера Васильевна
ауд. 162, корпус 8
Почта: shestakova@tpu.ru



Свойства электрической энергии

1. Электрическую энергию можно передавать на большие расстояния со сравнительно малыми потерями (5%).
2. Электрическую энергию невозможно накапливать и сохранять. Она потребляется в тот же момент, когда вырабатывается.
3. Для нормальной работы установок в энергосистеме требуется соблюдение баланса между выработанной $P_{\text{выр}}$ и потребляемой $P_{\text{пот}}$ мощностью.

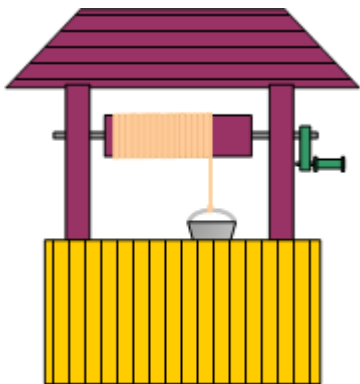
Причины нарушения баланса мощности

1. Аварийное отключение линии электропередачи («исчезновение» потребителя)
2. Аварийное отключение генераторов

$$P_{\text{выр}} = P_{\text{пот}}$$



Устойчивый режим в энергосистеме (ЭС)



Человек, крутящий ручку, - генератор и турбина.
Ведро с водой – нагрузка.

Выработка



Потребление

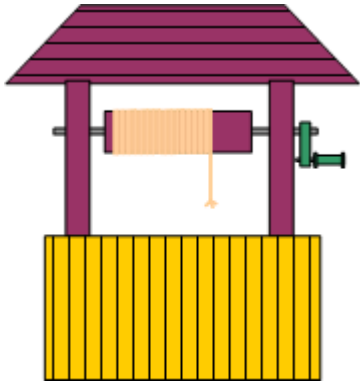


$$P_{\text{выр}} = P_{\text{пот}}$$



Энергосистема включает в себя:
электростанции (ЭСТ),
подстанции,
линии электропередачи,
потребителей.

Нарушение устойчивого режима в энергосистеме



Человек, крутящий ручку, - генератор и турбина.
Ведро с водой – оборвалось.

$$P_{\text{выр}} > P_{\text{пот}}$$



Выработка

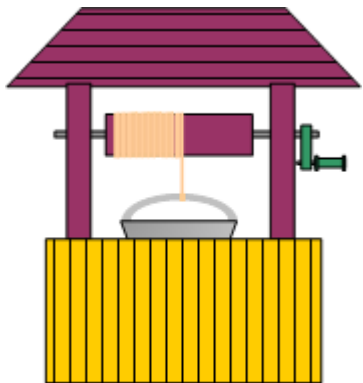


Потребление



Линия электропередачи отключилась.
Скорость вращения роторов генераторов на ЭСТ увеличится.

Нарушение устойчивого режима в энергосистеме



Человек, крутящий ручку, - генератор.
Ведро с водой – превратилось в бочку.

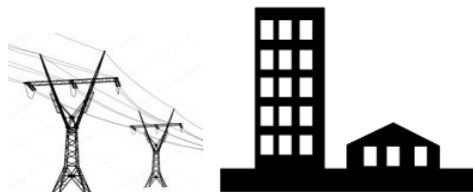
$$P_{\text{выр}} < P_{\text{пот}}$$



Выработка



Потребление



На электростанции отключился один генератор из трех. Нагрузка на оставшиеся генераторы возросла. Скорость вращения роторов генераторов на ЭСТ уменьшается



Системная авария (Black-Out)

$f < 46$ Гц



Короткое замыкание
на воздушной линии



Отключение части или всех ЭСТ



Примеры системных аварий

Северо-Запад США - 09.11.1965, отключено 43 600 МВт на 13 часов

Нью-Йорк - 13.07.1977 отключено 6 000 МВт на 25 часов

Токио - 23.07.1987 отключено 8 200 МВт на 3 часа

Северо-Запад США, Канада - 14.08.2003 отключено 63 000 МВт на 48 часов

Гравитационный накопитель энергии

Шотландский стартап Gravitricity на промышленной площадке в порту Лит (Эдинбург).

Мощность установки - 4000 кВт.

Масса груза: от 500 до 5000 тонн ,

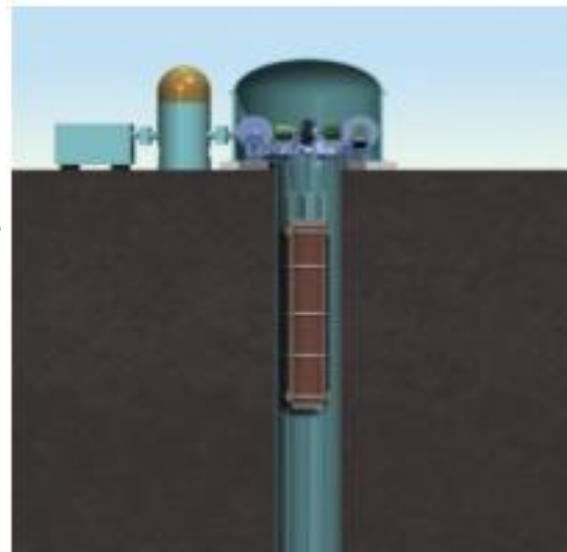
Глубина шахты 150-1500 м.

Время отклика – с 0 до 4000 МВт – менее одной секунды.

Принцип действия: электроэнергия используется для поднятия груза (накопление энергии) и вырабатывается при его падении в шахту.

Срок службы: 50 лет

Стоимость проекта 1 млн фунтов стерлингов.



https://elektrovesti.net/70884_v-velikobritanii-sozdaetsya-novaya-gravitatsionnaya-sistema-nakopleniya-energii

Кинетические маховиковые накопители энергии

Назначение: кинетический аккумулятор.

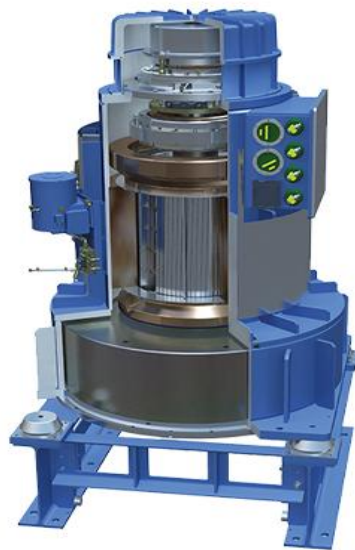
Принцип действия: маховик раскручивают до больших скоростей, вырабатывает энергию за счет инерции вращения.

Материалы для маховиков:

- углеродные волокна;
- высокопрочная сталь;
- напряженный бетон.
- ...



Каркас для ротора маховика из напряженного бетона



Супермаховик

Ограничение конструкции маховиков - предел прочности материала тела вращения на разрыв. При разрыве ротора осколки причиняют большие разрушения.

Супермаховик — это маховик высокой удельной энергоёмкости, изготовленный методом навивки с натягом на упругий центр материалов с высокой прочностью — лент, волокон со связкой (склежкой). Эксплуатируется супермаховик в вакууме.

Накопители энергии

<https://energy.hse.ru/accenergy>

Кинетические маховиковые накопители энергии

<http://electricalschool.info/energy/2334-mahovichnye-kineticheskie-nakopiteli-energii.html>

Маховик – устройство, имеющее способность без ущерба самому себе отдавать огромную энергию за маленький промежуток времени. Аналог механического аккумулятора-конденсатора.

Скорость отклика менее 20 миллисекунд



<https://dzen.ru/a/Xeoqc11jYgCtg1rF>

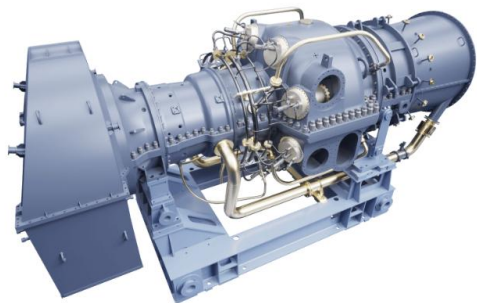
Маховик как аккумулятор
Кочетов Алексей



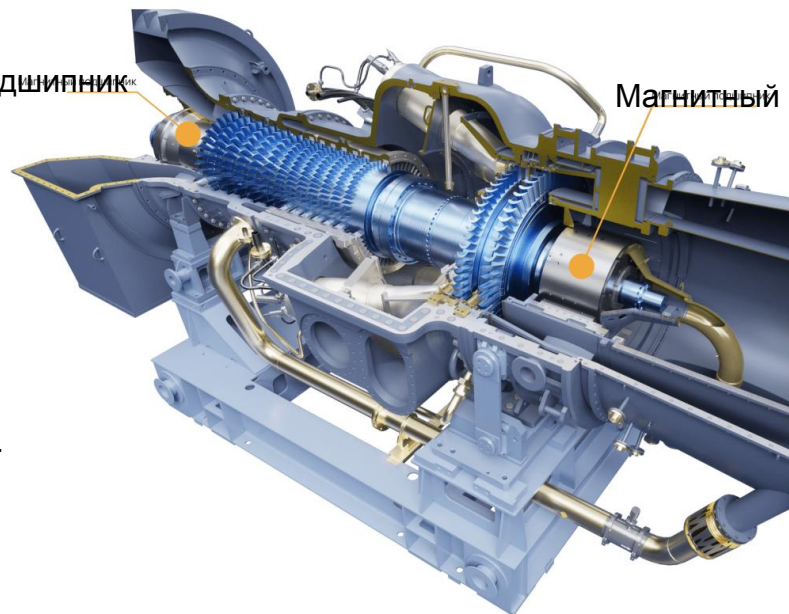
Применение кинетических накопителей



Плавный останов газовой энергетической турбины ГТ-009М с ротором, установленном на магнитных подшипниках



Магнитный подшипник



Преимущества МП

- 1) Отсутствие контакта (нет трения = нет износа).
- 2) Не требуют смазки, не выделяют загрязнений.
- 3) Очень низкий уровень вибрации.
- 4) Малое потребление электроэнергии.
- 5) Встроенная система контроля и мониторинга состояния.

<https://gtenergo.ru/products/tehnologicheskie-resheniya-innovatsii/>

Задача 1

Расчет необходимой скорости вращения маховика

На газовом месторождении установлены газоперекачивающие агрегаты с подвесом ротора на магнитных подшипниках. В случае внезапной потери питания агрегаты необходимо остановить плавно с соблюдением условий техники безопасности. Для отключения одного агрегата требуется обеспечить питание устройств мощностью $P = 10000 \text{ Вт}$ в течение $\Delta t = 10 \text{ с}$.

С какой скоростью должен вращаться один маховик, чтобы обеспечить требуемую мощность в течение заданного времени?

Маховик представляет собой сплошной цилиндр из углеродного волокна.

Масса маховика $m = 100 \text{ кг}$, радиус $R = 0.4 \text{ м}$.

КПД генератора-преобразователя $\eta = 70\%$.

Рассчитайте, с какой скоростью должен вращаться один маховик, чтобы обеспечить требуемую мощность в течение заданного времени.

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$E = \frac{J\omega^2}{2}$$

где J – момент инерции вращающегося тела, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$,

$\omega = 2\pi f$ – угловая скорость, рад/с

f – частота, об/с .

Момент инерции для сплошного и полого цилиндров

$$J = \frac{mR^2}{2} \quad J = \frac{m(R_1^2 + R_2^2)}{2}$$

R_1 – внутренний радиус, R_2 – внешний радиус цилиндра.

Задача 1

Расчет необходимой скорости вращения маховика

1. Рассчитайте кинетическую энергию вращающегося тела.
2. Определите момент инерции для сплошного цилиндра.
3. Определите общее количество необходимой энергии с учетом КПД преобразователя.

Задача 2

Расчет сил торможения маховика

Начальная кинетическая энергия вращающегося маховика равна $E_1 = 150$ кДж. После перехода маховика в режим выдачи энергии (генерации), под действием постоянного тормозящего момента, маховик сделал $N=2030$ оборотов, остановился. Определить момент M силы торможения. Считаем, что маховик вращался равнозамедленно.

Задача 3

Выбор количества маховиков для обеспечения заданного запаса энергии

В системе электроснабжения на месторождении используются турбины ГТ-009М. Для предотвращения аварийного перерыва электроснабжения было принято решение установить комплексы кинетических накопителей энергии (КНЭ) с запасом энергии не менее $E_{\min} = 150$ МВт·ч.

Один комплекс КНЭ включает в себя $n = 5$ маховиков и один преобразователь. Один маховик занимает площадь $S_{\text{м}} = 27,9$ м². Преобразователь занимает площадь $S_{\text{пр}} = 126,7$ м². КПД преобразователя $\eta = 90\%$.

Технологическая площадка, на которой будет установлены КНЭ имеет размеры $S_{\text{пл}} = 30 \times 38$ м²,

Параметры маховика:

- масса полого маховика $m = 5000$ кг,
- внутренний и внешний радиусы маховика $R_1 = 0,6$ м, $R_2 = 2,4$ м.
- скорость вращения $v = 18000$ об/мин.

Определите:

- сколько комплексов КНЭ возможно установить на технологической площадке $S_{\text{пл}}$;
- максимальное значение кинетической энергии $E_{\text{КНЭ}}$, которая может быть запасена комплексом КНЭ;
- будет ли обеспечено заданное условие $E_{\text{КНЭ}} \geq E_{\min}$?



Задача 3

Выбор количества маховиков для обеспечения заданного запаса энергии

1. Определите площадь технологической площадки.
2. Рассчитайте возможное количество КНЭ для размещения на заданной площади. Округлите до ближайшего целого числа.
3. Определите число маховиков на площадке равно
4. Рассчитайте момент инерции для полого цилиндра
5. Определите частоту вращения маховика
6. Кинетическая энергия одного маховика в кВт*ч

Связь темы занятия с другими дисциплинами

Семестр 8

Автоматика
энергосистем

Упр.реж. ЭЭС
на базе СЭ