



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения**

К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2502108

(22) 28.05.2025

(46) Бюл. 226, 2025

(71) Султонзода Ш.М. (ТJ); Шарифов Б.Н. (ТJ);
Диёрзода Р.Х. (ТJ); Рахмонзода С.А. (ТJ); Халилов
М.Н. (ТJ)

(72) Султонзода Ш.М. (ТJ); Шарифов Б.Н. (ТJ);
Диёрзода Р.Х. (ТJ); Рахмонзода С.А. (ТJ); Халилов
М.Н. (ТJ)

(73) Султонзода Ш.М. (ТJ); Шарифов Б.Н. (ТJ);
Диёрзода Р.Х. (ТJ); Рахмонзода С.А. (ТJ); Халилов
М.Н. (ТJ)

(54) **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ
НАКОПИТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ**

(56)

1. US8593012 - Utility scale electric energy storage system (patent US8593012, Int. C. H02G 3/00 (2006.01) B60L 3/00 (2006.01), Date of Patent 26.11.2012).

2. US11085 423 B2 - Electromechanical system for energy storage and recovery (patent US11085 423 B2, Int. C. H02G 3/00 (2006.01) B60L 3/00 (2006.01), Date of Patent 23.04.2024).

3. CN114922787A - Gravity energy storage system for geothermal energy in mountainous areas (patent CN114922787A, Int. C. F24T 10/40 (2018 .01), Date of Patent 19.08.2022).

4. RU2835283 – Электрическая гравитационная аккумулирующая станция (патент RU №2835283, H02G 3/00 (2006.01) B60L 3/00 (2006.01), опубликован 24.02.2025).

2

(57) Изобретение относится к области накопления и возврата энергии, в частности к гравитационным накопительным системам, использующим механическую работу массы, перемещаемой по наклонной канатной дороге, для преобразования электрической энергии в потенциальную и обратно. Электрическая гравитационная накопительная станция содержит погрузочную и разгрузочную станции, соединённые между собой канатной дорогой с установленными на ней грузовыми вагонами, электрический привод, редуктор, канатоведущий шкив, электрическую машину, работающую в режимах двигателя и генератора, преобразователь электроэнергии, систему управления и инфраструктуру электрической станции. В качестве источников энергии используются возобновляемые источники - солнечные и ветровые электростанции. В периоды избытка генерации осуществляется подъём грузов вверх по наклонной трассе с накоплением потенциальной энергии, а при необходимости возврата энергии - спуск грузов с преобразованием энергии в электрическую посредством рекуперации. Использование канатной дороги позволяет эффективно реализовать накопление энергии без применения гидротехнических сооружений и химических аккумуляторов, что особенно целесообразно в горной или удалённой местности. Станция обеспечивает высокую энергоэффективность, экологичность и возможность интеграции в децентрализованные энергосистемы.

Изобретение относится к области энергетики, в частности к технологиям накопления электроэнергии от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и предназначено для её аккумулирования во время снижения нагрузки в энергосистеме с последующей передачей обратно в сеть при возрастании потребления. Система использует канатную дорогу для транспортировки дробленного камня или песка, которая выполняет функцию гравитационного потенциального энергоносителя. Это позволяет значительно снизить затраты на хранение энергии и повысить эффективность её использования. Применение данной технологии способствует интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему, повышает её стабильность и надёжность, а также может использоваться для вторичного регулирования частоты.

Известна промышленная система накопления энергии [1], которая обеспечивает систему для хранения потенциальной энергии, использующую железнодорожные составы с электрическим приводом (под составом здесь понимается несколько вагонов поезда), перевозящие загружаемые массы между нижним и верхним хранилищами. Хранение потенциальной энергии осуществляется путём использования электрической энергии для подъёма масс в верхнее хранилище и последующей рекуперации энергии при их спуске. В процессе спуска генерируется электричество за счёт электромагнитного рекуперативного торможения составов, что позволяет вернуть накопленную энергию обратно в электрическую сеть. Система дополнительно включает вспомогательные механизмы поддержки, обеспечивающие регулирование переменной и реактивной мощности, а также возможность точной настройки режимов работы для повышения эффективности энергопередачи. Применение такой технологии может способствовать увеличению стабильности энергосистемы, снижению нагрузки на традиционные аккумуляторные системы и интеграции с возобновляемыми источниками энергии.

Использование железнодорожных составов позволяет транспортировать значительные массы с минимальными потерями, а также адаптировать систему к различным природным условиям, включая горные районы с выраженным перепадом высот. Это делает предложенный метод перспективным решением для долгосрочного хранения энергии и сглаживания колебаний нагрузки в энергосистеме.

Недостатком данной системы является, строительство железнодорожной инфраструктуры для транспортировки масс которая требует значительных капитальных вложений, а также выделения больших площадей под хранилища и транспортные пути. Кроме того, дополнительные потери энергии могут возникать из-за трения в рельсовых соединениях, износа тормозных систем и механических элементов, а также сопротивления движению вагонов, особенно при неблагоприятных погодных условиях. Рекуперативное торможение, используемое для возврата энергии в сеть, зависит от

эффективности преобразования, что может снижать общий коэффициент полезного действия системы. Также требуется постоянный контроль за техническим состоянием железнодорожных составов, систем привода и рельсового полотна, что увеличивает затраты на эксплуатацию и обслуживание.

Известна электромеханическая система накопления и восстановления энергии [2], основанную на вертикальном перемещении тяжёлого груза. Принцип работы заключается в том, что в режиме накопления энергия расходуется на подъём массивного объекта вверх с помощью электрического привода, а в режиме отдачи - при спуске объекта вниз его движение приводит к вращению генератора и рекуперации энергии обратно в электрическую сеть. Передача движения от электродвигателя к грузу осуществляется через механическую трансмиссию — редукторы, зубчатые передачи и рейки. Это обеспечивает возможность надёжного вертикального подъёма и удержания груза на необходимой высоте в течение длительного времени, что позволяет хранить энергию без значительных потерь. В конструкции также предусмотрены механизмы блокировки положения груза, обеспечивающие безопасность и сохранность заряда в виде потенциальной энергии.

Техническими особенностями данной системы являются высокая энергоёмкость, обусловленная большой массой поднимаемого объекта и вертикальным перепадом высот, а также наличие различных режимов работы: подъём, удержание и рекуперация. Однако при всех достоинствах система имеет ряд существенных ограничений.

Прежде всего, она ориентирована на компактные вертикальные установки, такие как шахты или башни, что делает её непригодной для местностей с наклонным рельефом или без возможности вертикального строительства. Кроме того, использование тяжёлой механики (редукторов, реек и зубчатых передач) усложняет конструкцию, увеличивает стоимость производства и обслуживания, а также снижает надёжность в долгосрочной эксплуатации. Отсутствие интеграции с переменными источниками энергии, такими как солнечные и ветровые установки, делает систему малоприспособленной для работы в условиях децентрализованной генерации. Также в системе не реализовано интеллектуальное управление, способное в реальном времени адаптировать режим работы в зависимости от состояния энергосети и текущей выработки ВИЭ.

Известна гравитационная система хранения энергии для геотермальной энергии в горном регионе [3], включающая многосегментный двухпутный рельс, тепловой двигатель, двигатель/генератор, блока хранения энергии, преобразователя и контроллера. Многосегментный двухпутный рельс используется для перемещения блока хранения энергии, изменяя его положение и, соответственно, гравитационную потенциальную энергию блока. Когда блок поднимается, энергия накапливается в виде потенциальной энергии. Когда блок

опускается, эта энергия может быть преобразована в механическую или электрическую энергию. Тепловой двигатель или электродвигатель используется для приведения в действие блока хранения энергии. Блок хранения энергии перемещается из низкого положения в высокое вдоль многосегментного двухпутного рельсового пути. При подъеме блока накопленная потенциальная энергия сохраняется, и по мере его опускания, энергия преобразуется в механическое движение, которое может быть использовано для генерации электричества. Эта энергия может быть использована для питания различных устройств или поступать в сеть. Такая система хранения энергии помогает эффективно использовать геотермальную энергию или избыточную энергию от электростанции на основе ВИЭ, где она доступна, и может быть внедрена в регионах с ограниченным доступом к традиционным источникам энергии.

Недостатки данной гравитационной системы хранения энергии могут включать низкую эффективность при небольших перепадах высоты, поскольку система работает на основе изменения положения блока, а в горных регионах перепад высот может быть ограничен. Также реализация такой системы требует значительных капитальных затрат на строительство многосегментного двухпутного рельса и установку тепловых или электродвигателей, что делает её дорогой на стадии реализации. Кроме того, постоянное механическое движение блоков по рельсам вызывает их износ, что требует регулярного обслуживания и ремонта. В некоторых горных районах встречаются рельеф такой сложности, что это создает трудности при создании многосегментного рельсового пути, требующего значительных усилий для его строительства и поддержки.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является электрическая гравитационная аккумулирующая станция [4], представляющая собой инновационную систему накопления энергии, использующую гравитационный потенциал для повышения эффективности хранения и преобразования энергии. Основное преимущество данной системы — интеграция механического и электрического компонентов, включая зубчатые рельсовые пути, синхронные электрические машины, аккумуляторные батареи и солнечные панели, что позволяет эффективно преобразовывать гравитационную энергию в электрическую.

Рельсовая структура станции и зубчатые колеса-шестерни, обеспечивающие движение платформы, позволяют надежно и точно управлять перемещением груза, создавая возможность для накопления и преобразования потенциальной энергии. Наклонная или вертикальная опорная поверхность и многоуровневая конструкция платформы обеспечивают разнообразие вариантов для использования в разных условиях, включая горные районы.

Использование аккумуляторных батарей и солнечных панелей для подзарядки системы и

интеграция с энергосистемой позволяет создавать гибридную энергетическую систему, способную работать автономно или в составе централизованной сети. Устройство управления и тиристорное возбуждающее устройство обеспечивают стабильную работу электрической машины и эффективное распределение энергии в системе.

Недостатком данной системы является использование зубчатых рельсовых путей, которые представляют собой специализированные конструкции, предназначенные для передачи силы от зубчатых колес-шестерён на платформу, перемещающую груз. Для их изготовления необходимо использовать прочные материалы, такие как высококачественная сталь или сплавы с высокой износостойкостью, поскольку на них воздействуют значительные механические нагрузки от движущихся блоков и грузов. Рельсы должны быть выполнены с высокой точностью, чтобы обеспечить надёжную и безопасную работу всей системы. Неправильная установка или использование низкокачественных материалов может привести к быстрому износу, деформации или даже разрушению элементов конструкции. Кроме того, для строительства наклонной плоскости с рельсовыми путями и вертикальными гравитационными хранилищами требуется значительная площадь земли. Это обусловлено необходимостью создания достаточно длинных и устойчивых конструкций, а также обеспечением подходящих условий для размещения оборудования и компонентов системы. В условиях ограниченного пространства, например, в густонаселённых территориях, это может стать серьёзным ограничением, повышая стоимость и сложность реализации проекта.

Техническая задача предлагаемого изобретения заключается в использовании канатной дороги для транспортировки дроблёного камня или бетона по наклонной трассе с целью накопления потенциальной энергии. Поскольку канатная дорога не зависит от сложности рельефа, её применение особенно целесообразно в горных районах, где традиционные системы хранения энергии требуют значительных инфраструктурных затрат. Использование естественного уклона местности в сочетании с канатной дорогой позволяет эффективно накапливать и высвобождать энергию. В периоды избытка электроэнергии от возобновляемых источников, электрический привод поднимает груз вверх, преобразуя электроэнергию в потенциальную. При росте энергопотребления или необходимости балансировки энергосистемы груз опускается вниз, вращая генератор и преобразуя накопленную энергию обратно в электрическую.

Благодаря минимальным потерям при преобразовании энергии, система обладает высокой энергоэффективностью. В отличие от гидроаккумулирующих станций, она требует меньших капитальных затрат и не зависит от наличия крупных водных ресурсов. Это делает её оптимальным решением для горных и удалённых районов. Дополнительным преимуществом является интеграция с возобновляемыми

источниками энергии, что способствует стабилизации энергосистемы. Отсутствие необходимости в химических аккумуляторах и строительстве водохранилищ снижает воздействие на окружающую среду, делая систему экологически безопасной и экономически выгодной.

Конструктивно система состоит из двух основных компонентов: инфраструктуры электрической станции и несущей инфраструктуры в виде канатной дороги. Канатная дорога включает погрузочную станцию 1 и разгрузочную станцию 2, соединённые между собой путями, представляющими собой тяговый канат 3, по которому перемещаются подвешенные грузовые вагоны 4 (фиг.2). Движение вагонов осуществляется за счёт электрического привода, передающего вращение на тяговый канат. Тяговый канат перемещается по направляющим и поддерживается в натянутом состоянии при помощи натяжного устройства 5, которое обеспечивает устойчивую работу системы вне зависимости от изменения нагрузки или температурных условий (фиг.1). Натяжное устройство, как правило, размещается на одной из станций и представляет собой гидравлический цилиндр, создающий необходимое усилие натяжения. Между станциями установлены промежуточные опоры 6, служащие опорными точками для закрепления тягового каната (фиг.2). Высота их установки определяется рельефом местности. Электрический привод состоит из канатоведущего шкива 7, соединённого с помощью редуктора 8 с валом электрической машины 9. Электрическая машина питается от преобразователя 10, управляемого системой управления 11, отвечающей также за регулирование процессов аккумуляции избыточной электрической энергии. В качестве электрической машины используется трехфазная синхронная машина (фиг.3).

Инфраструктура электрической станции включает трансформатор 12, который понижает напряжение, поступающее с линии электропередачи 13, до уровня, необходимого для питания преобразователя 10 и электрического привода. Трансформатор 12 через линии электропередачи подключается к энергосистеме 15 (фиг.3). Энергосистема 15 формируется на базе электрических станций, использующих возобновляемые источники энергии, среди которых основную роль играют солнечные электростанции 16 и ветровые электростанции 17 (фиг.4).

Настоящее изобретение поясняется чертежами:

На фиг. 1 показан вид (в плане) предполагаемая схема электрической гравитационной установки;

На фиг. 2 показан вид установки канатной дороги;

На фиг. 3 показан технологическая схема электрической станции.

На фиг. 4 показан технологическая схема электрической станции на основе солнечной и ветровой электростанции.

Установка гравитационной системы хранения энергии работает следующим образом. Принцип

действия установки гравитационного накопления энергии основан на двух циклах: аккумулирующем и генераторном. Система использует канатную дорогу с подвесными грузовыми вагонами как физическую платформу для преобразования электрической энергии в потенциальную и обратно. Основной идеей является использование избыточной электроэнергии от возобновляемых источников для подъема массы на высоту с целью последующего её спуска с выработкой электричества.

Когда выработка электроэнергии от солнечных 15 и ветровых 17 электростанций превышает потребление (фиг.4), система управления 11 переходит в режим хранения энергии. Поступающая по линиям электропередачи 13 энергия преобразуется трансформатором 12 до требуемого напряжения, затем поступает в преобразователь 10, который управляет электрической машиной 9 (фиг.3). Электрическая машина 9 работает как трехфазный синхронный двигатель. Через редуктор 8 вращение передается на канатоведущий шкив 7, приводящий в движение тяговый канат 3 (фиг. 1). Подвешенные на канате вагоны 4 начинают движение вверх — от погрузочной станции 1 к разгрузочной станции 2 (фиг.2). При этом в вагонах размещается груз, бетонные блоки или скальный материал, а сама масса и высота подъема формируют потенциальную энергию, запасённую в системе.

Натяжное устройство 5, обычно установленное на одной из станций, поддерживает постоянное натяжение каната, компенсируя температурные деформации и изменение нагрузки. Промежуточные опоры 6 обеспечивают стабильную траекторию движения каната по всей длине пути, независимо от рельефа местности (фиг.2).

Когда генерация электроэнергии от ВИЭ недостаточна (например, ночью, при штиле или повышенном спросе в сети), система переходит в режим отдачи энергии. Вагоны 4 с грузом начинают контролируемый спуск вниз — от разгрузочной станции 2 обратно к погрузочной станции 1 — под действием силы тяжести (фиг. 2). В процессе спуска тяговый канат вращает канатоведущий шкив 7, который через редуктор 8 передаёт вращение на вал электрической машины 9, теперь работающей как генератор (фиг.1). Трёхфазная синхронная машина 9 в этот момент переходит из двигательного в генераторный режим. Это возможно благодаря управлению со стороны преобразователя 10, который меняет алгоритм работы инвертора — теперь он работает как преобразователь генераторной энергии. Такой режим называется генераторный режим рекуперативного торможения. В результате механическая энергия, образовавшаяся за счёт спуска груза, преобразуется в электрическую. Эта электроэнергия через преобразователь 10 подаётся в энергосистему 15, компенсируя текущий дефицит и поддерживая баланс между потреблением и генерацией (фиг.3).

Таким образом, установка гравитационного накопления энергии на базе канатной дороги представляет собой эффективную и экологически чистую технологию для хранения и

возврата энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками. Принцип работы этой системы, включающий циклы накопления и генерации энергии, позволяет значительно повысить гибкость и устойчивость энергосистемы, особенно в условиях переменной генерации солнечных и ветровых электростанций.

Особенно важным элементом системы является преобразователь, обеспечивающий генераторный режим рекуперативного торможения, который не только позволяет эффективно тормозить вагоны при спуске, но и возвращать часть энергии обратно в сеть. Это способствует улучшению

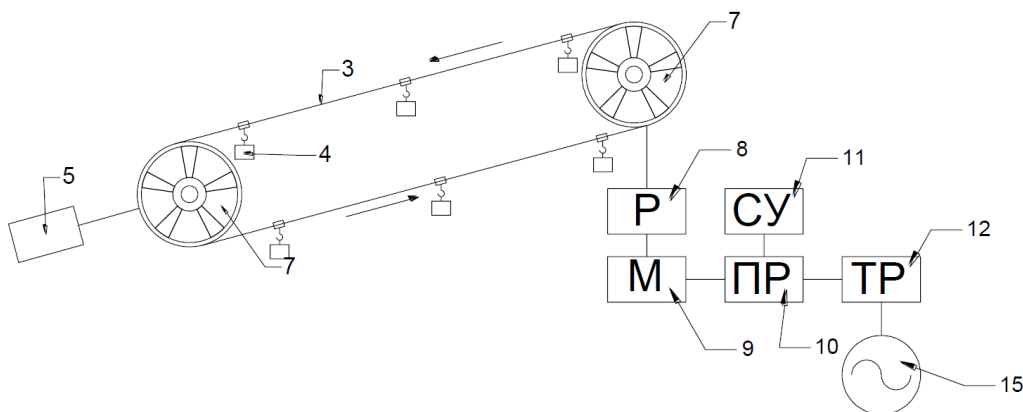
энергоэффективности, снижению износа оборудования и повышению общей надёжности системы. Такой подход обеспечивает оптимальное использование избыточной электроэнергии и способствует более рациональному управлению энергетическими потоками, что имеет ключевое значение для интеграции возобновляемых источников в современные энергосистемы. Данная установка является многофункциональным и высокоэффективным решением для накопления и использования энергии, что открывает новые перспективы для развития устойчивых энергосистем.

Формула изобретения

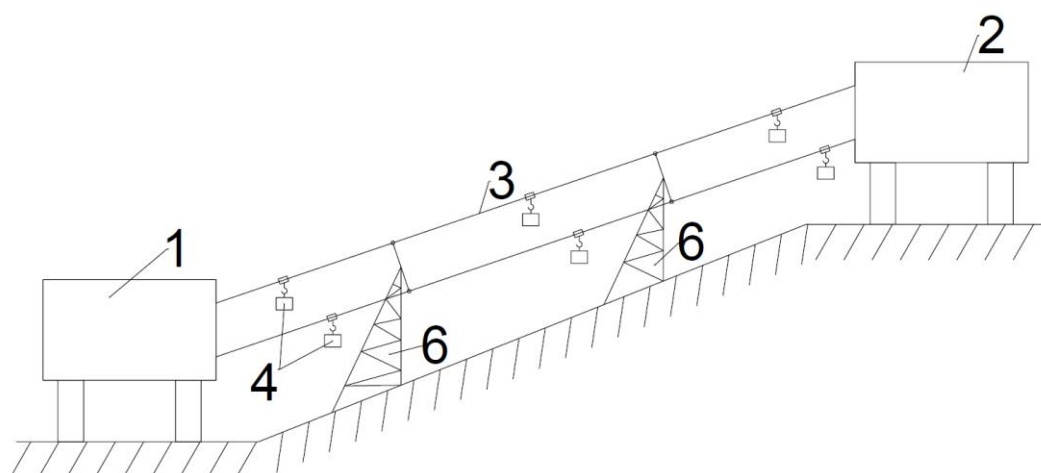
1. Электрическая гравитационная накопительная станция, содержащая погрузочную и разгрузочную станции, электрический привод, электрическую машину, выполненную с возможностью работы в двигательном режиме для подъёма грузов и в генераторном режиме с рекуперацией энергии при их спуске, преобразователь электроэнергии, обеспечивающий двунаправленное преобразование энергии между электрической машиной и энергосистемой, систему управления, а также инфраструктуру подключения к внешней энергосистеме, **отличающаяся тем, что** погрузочная и разгрузочная станции соединены между собой канатной дорогой, включающей

тяговый канат, по которому перемещаются подвешенные грузовые вагоны, при этом каждый вагон выполнен с возможностью загрузки и выгрузки полезного груза, а электрический привод соединён с тяговым канатом через канатоведущий шкив и редуктор.

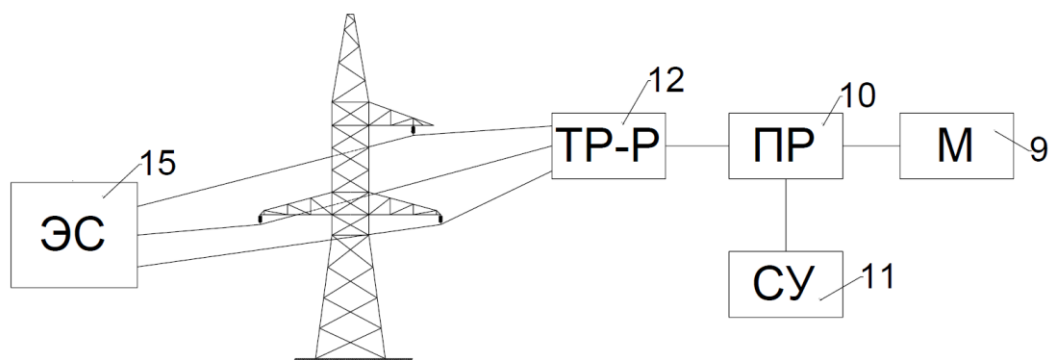
2. Станция по пункту 1, отличающаяся тем, что в состав внешней энергосистемы включена ветровая электростанция, соединённая с преобразователем электроэнергии для питания электрического привода и накопления энергии.



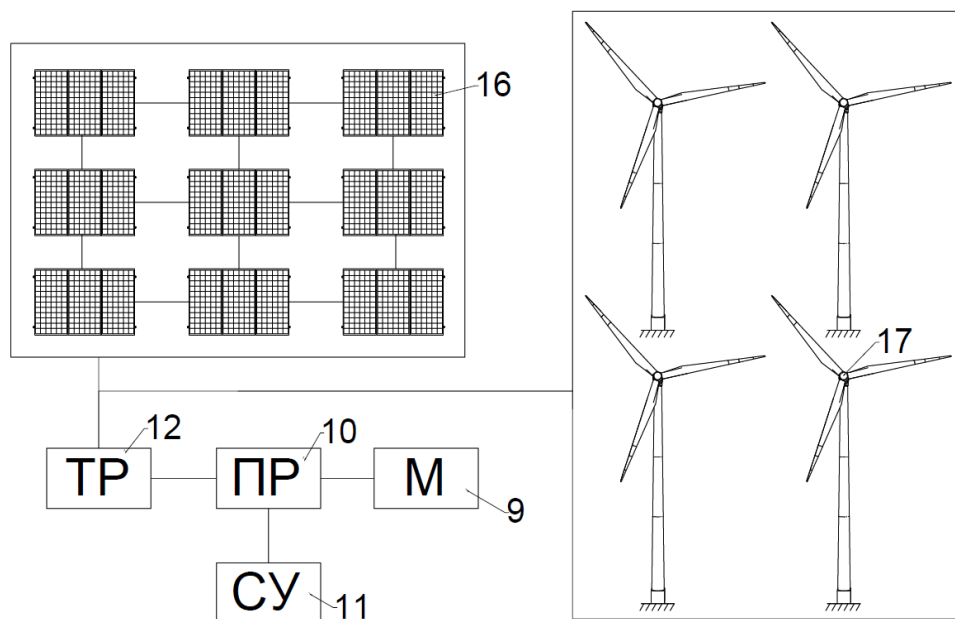
Фигура 1



Фигура 2



Фигура 3



Фигура 4

Компьютерный набор: Газиев М.