



Республика Таджикистан

(19) **TJ** ⁽¹¹⁾ 1737
(51) МПК (2025): F03G 6/06,
F03G 6/065; F01K 3/12

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2602260

(22) 08.04.2026

(46) Бюл. 232, 2026

(71) Зокирзода Аминджон Рахмон (ТJ), Шарифов Бохирджон Насруллоевич (ТJ), Юсуфзода Манучехр Юсуф (ТJ), Салимов Отабек Зокирджонович (ТJ)

(72) Зокирзода Аминджон Рахмон (ТJ), Шарифов Бохирджон Насруллоевич (ТJ), Юсуфзода Манучехр Юсуф (ТJ), Салимов Отабек Зокирджонович (ТJ)

(73) Зокирзода Аминджон Рахмон (ТJ), Шарифов Бохирджон Насруллоевич (ТJ), Юсуфзода Манучехр Юсуф (ТJ), Салимов Отабек Зокирджонович (ТJ)

(54) **МОДУЛЬНАЯ ГЕЛИОТЕРМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕМ ГЕЛИОСТАТОВ**

(56)

1. Бальян, С.В. – Техническая термодинамика и тепловые двигатели: учебное пособие для вузов / С.В. Бальян. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1973. – 304 с.

2. Noor Ouarzazate III Solar Power Plant (Morocco): solar tower power plant with molten salt thermal energy storage // ACWA Power, Masen. – URL: https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=26 (дата обращения: 01.03.2026).

3. CN102929298A – Башенная солнечная гелиотермальная установка с многоуровневой системой управления полем гелиостатов (патент CN №102929298A, МПК: F24J 2/07 (2006.01), G05D 3/12 (2006.01), опубликован 13.02.2013).

4. DE102008035842A1 – Солнечная гелиотермальная электростанция с системой управления полем гелиостатов (патент DE №102008035842A1, МПК: F24J 2/07 (2006.01), G05D 3/12 (2006.01), опубликован 06.08.2009).

5. CN105841369B – Солнечная гелиотермальная электростанция и способ управления ею (патент CN №105841369B, МПК:

2

F24J 2/07 (2006.01), G05D 3/12 (2006.01), опубликован 19.01.2018).

6. RU2842223C1 – Способ работы солнечной гелиотермальной электростанции и устройство для его реализации (патент RU №2842223C1, МПК: F24J 2/07 (2006.01), F03G 6/00 (2006.01), опубликован 2024).

(57) Изобретение относится к области солнечной энергетики, в частности к гелиотермальным электростанциям башенного типа с полем гелиостатов и системами аккумулирования тепловой энергии. Предлагаемая модульная гелиотермальная электростанция содержит первый гелиотермальный блок с полем гелиостатов, работающий на блок термодинамического цикла Ренкина для непосредственной выработки электрической энергии, и второй гелиотермальный блок с полем гелиостатов, соединённый с накопителем высокотемпературного теплоносителя для аккумулирования тепловой энергии. Накопитель связан с блоком термодинамического цикла Ренкина посредством теплообменника. Особенностью изобретения является наличие центрального контроллера, взаимодействующего с индивидуальными контроллерами гелиостатов. Центральный контроллер выполнен в виде комплекса функционально связанных модулей, обеспечивающих сбор и обработку данных о солнечной инсоляции, температуре приёмников солнечного излучения и величине электрической нагрузки. На основе полученной информации вычислительный модуль формирует индивидуальные управляющие воздействия для отдельных гелиостатов или их групп, обеспечивая оптимальное распределение солнечного излучения между блоком непосредственной генерации электроэнергии и блоком накопления тепловой энергии.

Изобретение относится к области энергетики, а именно к возобновляемым источникам энергии на основе солнечных башенных (гелиотермических) электростанций. Изобретение может быть использовано для повышения эффективности использования солнечной энергии, обеспечения круглосуточной выработки электроэнергии и повышения управляемости энергетического комплекса.

Известны солнечные башенные электростанции, содержащие поле гелиостатов, концентрирующих солнечное излучение на приёмнике, расположенном на гелиотермическом блоке, и паросиловой блок реализующий термодинамический цикл Ренкина [1] для преобразования тепловой энергии в электрическую. Для обеспечения работы в ночное время и при переменной облачности такие станции оснащаются системой аккумулирования тепла, например, с использованием расплавленных солей.

Примером является крупнейшая в мире солнечная башенная электростанция Нур Уарзат III (Марокко) [2], в которой гелиотермический блок нагревает теплоноситель, при этом часть тепловой энергии направляется непосредственно на производство пара, а избыточная энергия - в систему накопления тепла; в ночное время накопленное тепло через теплообменник используется для генерации пара.

Недостатком такого решения является необходимость балансирования между режимами зарядки и разрядки накопителя, что в отдельные периоды времени приводит к недоиспользованию установленной мощности турбогенератора.

Известна башенная солнечная гелиотермальная установка с многоуровневой системой управления полем гелиостатов [3], в которой описана система управления полем гелиостатов, основанная на многоуровневой архитектуре. Согласно изобретению, система управления построена по иерархическому принципу и включает три уровня: верхний - уровень диспетчеризации и управления полем, средний - уровень управления подгруппами гелиостатов и нижний - уровень устройств слежения за Солнцем. Верхний уровень содержит контроллер поля, метеорологический монитор, интерфейсы связи, инфракрасные и высокоточные камеры, приёмную мишень для измерения светового пятна и целевую мишень. Контроллер поля выполняет следующие функции: расчёт траектории Солнца с учётом географического положения, выдачу команд подгруппам гелиостатов, приём обратной связи от подгрупп, взаимодействие с системой управления станцией, определение подгрупп и отдельных гелиостатов для формирования или расфокусировки светового пятна в зависимости от температуры приёмника, а также калибровку ошибок позиционирования. Средний уровень реализован на контроллерах подгрупп, которые, согласно описанию, выполнены с использованием технологии резервирования (двойного резервирования) и совмещают функции управления группой и базового управления отдельными гелиостатами. Это позволяет

локализовать управление в пределах подгруппы и снизить нагрузку на центральный контроллер. Нижний уровень содержит исполнительные механизмы гелиостатов с комбинированным управлением: разомкнутым (по расчётной траектории) и смешанным разомкнуто-замкнутым управлением (с коррекцией по обратной связи).

Недостатком данного изобретения является его ориентация исключительно на задачу управления полем гелиостатов без реализации модульной структуры гелиотермической электростанции в целом. В патенте отсутствует описание распределённой архитектуры энергетических модулей (независимых подсистем генерации и накопления), а также не рассматриваются вопросы масштабируемости станции и автономной работы отдельных модулей.

Кроме того, несмотря на наличие резервирования контроллеров подгрупп, система управления в целом носит иерархически централизованный характер с жёстким подчинением нижних уровней верхнему, что сохраняет зависимость от центрального узла управления и снижает отказоустойчивость при его выходе из строя.

Система также не решает задачу динамического перераспределения гелиостатов между несколькими приёмниками, например между контуром прямой генерации и контуром накопления энергии, поскольку ориентирована на работу с единственным приёмником солнечного излучения.

Известна солнечная гелиотермальная электростанция с системой управления полем гелиостатов [4], в которой описана модульная солнечная башенная электростанция (Flexible Solar Power Plant - FSPP). Согласно изобретению, электростанция содержит по меньшей мере одну башню, на которой либо на отдельных гелиотермический блок x размещены как минимум два различных солнечных модуля, преобразующих солнечное излучение в различные виды полезной энергии (электроэнергию, водород, пар, горячую воду, холод или опреснённую воду). Поле гелиостатов обеспечивает подачу солнечной энергии к указанным модулям. Электростанция выполнена с возможностью динамического направления отражённого солнечного излучения на выбранный солнечный модуль посредством гелиостатов в зависимости от потребности в полезной энергии и/или доступной мощности солнечного излучения. Для калибровки системы на башне предусмотрена калибровочная поверхность. Управление гелиостатами осуществляется таким образом, чтобы фокусное пятно на оголовке башни оптимизировалось для обеспечения одного из следующих режимов: подачи энергии только на выбранный модуль, распределения энергии между несколькими модулями для поддержания их работы в оптимальном режиме либо распределения энергии между однотипными модулями для достижения максимального коэффициента полезного действия в зависимости от интенсивности солнечного излучения.

Недостатком данного изобретения является его ориентация на различные типы модулей, преобразующих солнечную энергию в различные виды полезной энергии (электроэнергию, водород, холод и т.д.), без оптимизации работы станции с двумя однотипными контурами - контуром генерации и контуром накопления энергии. В техническом решении не раскрыт конкретный алгоритм распределения гелиостатов в течение суток, отсутствует математическая модель зависимости количества задействованных гелиостатов от положения Солнца, а также не предусмотрены меры по защите приёмника от перегрева в полуденные часы посредством перераспределения части гелиостатов.

Кроме того, решение ориентировано на получение различных видов конечной энергии, тогда как для повышения маневренности станции и обеспечения круглосуточной выработки электроэнергии требуется согласованная работа двух однотипных контуров - паротурбинного цикла и системы теплового аккумулирования.

Известна солнечная гелиотермальная электростанция и способ управления ею [5]. Согласно изобретению, технической задачей является создание простого способа управления, обеспечивающего равномерное распределение светового пятна на приёмнике, снижение ударных тепловых нагрузок и повышение срока службы оборудования. Для решения указанной задачи приёмник разделяется на блоки (секции), которые соотносятся с определёнными областями поля гелиостатов. Гелиостаты каждой области фокусируют отражённое солнечное излучение на соответствующий блок приёмника, что позволяет рассредоточить поток энергии и обеспечить более равномерное распределение световых пятен по поверхности приёмника. Распределение световых пятен динамически регулируется для контроля уровня концентрации излучения на каждом блоке, благодаря чему обеспечивается равномерность температурного поля приёмника, снижается воздействие высоких тепловых нагрузок, повышается надёжность системы и увеличивается срок службы приёмника.

Недостатком данного изобретения является то, что оно рассчитано на работу только с одним приёмником и не предусматривает разделения системы на контуры прямой генерации и накопления энергии. Отсутствует возможность перенаправления части гелиостатов на второй приёмник для зарядки теплового аккумулятора. Кроме того, в патенте не учитывается суточное изменение инсоляции и не решается задача оптимального распределения гелиостатов между различными режимами работы в зависимости от времени суток, поскольку управление направлено исключительно на обеспечение равномерного нагрева в пределах одного приёмника, а не на переключение потоков энергии между различными энергетическими контурами.

Наиболее близким к заявляемому изобретению (прототип) является способ работы солнечной

гелиотермальной электростанции и устройство для его реализации [6], в котором описаны солнечная гелиотермальная электростанция и способ её работы. Согласно прототипу, электростанция содержит первый гелиотермический блок с полем гелиостатов, нагреватель которого соединён с блоком термодинамического цикла Ренкина, и второй гелиотермический блок с полем гелиостатов, нагреватель которого соединён с накопителем высокотемпературного теплоносителя. Накопитель связан с блоком цикла Ренкина посредством теплообменника.

Управление работой системы осуществляется регулируемыми клапанами по сигналам блока управления, соединённого с датчиком плотности потока солнечного излучения.

Недостатками прототипа являются жёсткое функциональное разделение гелиостатов на два независимых блока, при котором одни гелиостаты постоянно работают на прямую генерацию, а другие - на накопление, что исключает возможность их динамического перераспределения в течение суток, вследствие чего в утренние и вечерние часы первый блок может не обеспечивать номинальную мощность турбины, тогда как второй осуществляет зарядку аккумулятора с пониженной эффективностью, а в полдень первый приёмник подвергается избыточной тепловой нагрузке, способной вызвать перегрев и снижение ресурса оборудования, при отсутствии механизма защиты путём перенаправления части гелиостатов на второй приёмник, а также отсутствует оптимизация распределения гелиостатов по критерию максимизации годовой выработки электроэнергии с учётом суточного изменения инсоляции.

Техническая задача, решаемая заявляемым изобретением, заключается в создании системы управления солнечной термальной электростанцией с двумя приёмниками (прямая генерация и накопление), который позволял бы гибко перераспределять единое поле гелиостатов между режимами в течение суток для оптимизации тепловой нагрузки на первый приёмник, повышения эффективности зарядки аккумулятора и увеличения суммарной выработки электроэнергии.

Указанная техническая задача решается тем, что в системе управления солнечной термальной электростанцией, содержащей первый приёмник, связанный с контуром прямой генерации электроэнергии, работающим по термодинамическому циклу Ренкина, второй приёмник, связанный с контуром аккумулирования тепловой энергии, и единое поле гелиостатов, каждый из которых снабжён индивидуальным приводом и индивидуальным контроллером, соединённым с центральным контроллером, согласно изобретению центральный контроллер выполнен в виде функционально связанных модулей, включающих модуль ввода сигналов с фотодатчика инсоляции, модуль ввода сигналов с датчиков температуры приёмников, модуль ввода сигналов с датчиков нагрузки, модуль сбора и обработки данных, вычислительный модуль, модуль

формирования индивидуальных целеуказаний и модуль связи с полевыми контроллерами гелиостатов.

При этом модули ввода сигналов соединены с модулем сбора и обработки данных, выход которого соединён с вычислительным модулем, выполненным с возможностью реализации алгоритма распределения гелиостатов и коррекции указанного распределения по температуре приёмников, уровню накопленной тепловой энергии и режиму работы термодинамического цикла Ренкина.

Выход вычислительного модуля соединён с модулем формирования индивидуальных целеуказаний, который через модуль связи выполнен с возможностью передачи индивидуальных управляющих сигналов на соответствующие индивидуальные контроллеры приводов гелиостатов.

Технический результат заключается в снижении пиковой тепловой нагрузки на первый приёмник в околополуденные часы, поддержании номинальной мощности турбины в утренние и вечерние часы, повышении эффективности зарядки теплового аккумулятора, увеличении коэффициента использования установленной мощности гелиостатного поля и росте годовой выработки электроэнергии электростанцией.

Настоящее изобретение поясняется чертежами:

Фиг. 1 - технологическая схема башенной системы для выработки энергии из воды/пара и расплавленной соли с переключателем режимов;

Фиг. 2 - технологическая схема системы выработки электроэнергии на водяной/паровой башне;

Фиг. 3 - технологическая схема башенной системы выработки электроэнергии с использованием расплавленной соли;

Фиг. 4 - функциональная схема башенной системы для выработки энергии из воды/пара и расплавленной соли с системой управления полем гелиостатов;

Электростанция содержит первую башню (1) (Гелиотермический блок I) с установленным на ней первым приёмником (2) солнечного излучения и вторую башню (3) (Гелиотермический блок II) с установленным на ней вторым приёмником (4) солнечного излучения (фиг.1). Вокруг гелиотермических блоков размещено единое поле гелиостатов (5), каждый из которых снабжён индивидуальными приводами азимутального (6) и зенитного (7) слежения, а также индивидуальным контроллером (8), обеспечивающим возможность независимого наведения гелиостата на любой из двух приёмников (фиг. 4). Индивидуальные контроллеры (8) связаны с центральным контроллером (9) (в составе общей системы управления), образуя распределённую систему управления полем гелиостатов (фиг. 4). Первый приёмник (2), установленный на гелиотермическом блоке I, включён в контур прямой генерации электроэнергии, работающий по термодинамическому циклу Ренкина. Выходной трубопровод первого приёмника для перегретого пара (11) соединён с входом паровой турбины (12) через регулирующий клапан (на

фигурах не показан), обеспечивающий управление расходом и параметрами рабочего тела в зависимости от режима работы электростанции. Выхлопной пар турбины поступает в конденсатор (14), где конденсируется в жидкую воду (15). Конденсат с помощью питательного насоса (16) подаётся во входной трубопровод первого приёмника (2), замыкая цикл (фиг. 2). Электроэнергия, вырабатываемая генератором (13), передаётся в электрическую сеть (24). Второй приёмник (4), установленный на гелиотермическом блоке II, включён в контур аккумулирования тепловой энергии. Указанный контур содержит высокотемпературный аккумулятор тепловой энергии (АТЭ) (17) и низкотемпературный АТЭ (18) (фиг. 3).

Выход второго приёмника (4) соединён с высокотемпературным АТЭ (17), в котором накапливается нагретый теплоноситель, например расплавленная соль. Низкотемпературный АТЭ (18) предназначен для хранения охлаждённого теплоносителя, возвращаемого на вход второго приёмника (4) для повторного нагрева (фиг. 2). Между высокотемпературным АТЭ (17) и низкотемпературным АТЭ (18) предусмотрен теплообменник (на фигурах не показан), посредством которого тепловая энергия теплоносителя может передаваться в контур прямой генерации, например для подогрева питательной воды или дополнительной генерации пара.

Для управления потоками теплоносителя предусмотрен переключатель (19), выполненный с возможностью направления потока от второго приёмника (4): в высокотемпературный АТЭ (17) - в режиме зарядки; через теплообменник в контур генерации - в режиме разрядки; непосредственно на вход второго приёмника (4) в обход накопителей (фиг. 1).

Для контроля условий работы электростанция оснащена фотодатчиком солнечной инсоляции (10), измеряющим плотность потока прямого солнечного излучения (22), поступающего от Солнца (20). Отражённые солнечные лучи (21) от гелиостатов (5) направляются соответственно на приёмники (2) и (4).

Электростанция работает следующим образом:

Центральный контроллер непрерывно получает информацию от фотодатчика инсоляции (10), датчиков температуры приёмников (23), а также данные о текущей электрической нагрузке. На основе указанных данных контроллер оценивает текущее состояние системы и определяет предпочтительный режим работы: преимущественную выработку электроэнергии (направление большей части гелиостатов на первый приёмник), преимущественную зарядку АТЭ (направление большей части гелиостатов на второй приёмник), сбалансированный режим (распределение гелиостатов между приёмниками) либо режим разрядки АТЭ (в ночное время или при недостаточной инсоляции, когда гелиостаты не задействуются, а энергия поступает из накопителя).

В зависимости от выбранного режима центральный контроллер (9) формирует для каждого

гелиостата (5) индивидуальное целеуказание: направление отражённого солнечного излучения на первый приёмник (2) либо на второй приёмник (4). Индивидуальные контроллеры (8) обеспечивают обработку команд посредством управления приводами азимутального (6) и зенитного (7) наведения (фиг.4).

Так, в ясный солнечный день при высокой электрической нагрузке центральный контроллер может направлять большую часть гелиостатов на первый приёмник для обеспечения максимальной генерации, а оставшуюся часть - на второй приёмник для зарядки аккумулятора. При приближении облачности центральный контроллер может оперативно перераспределять часть гелиостатов с первого приёмника на второй для компенсации снижения инсоляции за счёт накопленной энергии. При достижении предельной температуры первого приёмника контроллер уменьшает количество гелиостатов, направленных на него, перенаправляя их на второй приёмник, что предотвращает перегрев. При низком уровне заряда АТЭ контроллер может увеличивать долю гелиостатов, работающих на

второй приёмник, даже в ущерб текущей генерации, если это допустимо по условиям энергоснабжения.

В ночное время или при длительном отсутствии солнечного излучения система переходит в режим разрядки: переключатель (19) направляет горячий теплоноситель из высокотемпературного АТЭ (17) в теплообменник, где тепло передаётся рабочему телу паротурбинного цикла. Образующийся пар поступает в турбину (12), обеспечивая выработку электроэнергии. Охлаждённый теплоноситель поступает в низкотемпературный АТЭ (18) для последующего цикла зарядки.

Таким образом, предложенная система обеспечивает гибкое распределение гелиостатов между двумя приёмниками в режиме реального времени в зависимости от текущих условий, что позволяет оптимизировать использование солнечной энергии, предотвратить перегрев оборудования, повысить коэффициент использования установленной мощности и увеличить годовую выработку электроэнергии.

Формула изобретения

Модульная гелиотермальная электростанция, содержащая первый гелиотермический блок с полем гелиостатов, соединённый с блоком термодинамического цикла Ренкина, и второй гелиотермический блок с полем гелиостатов, соединённый с накопителем высокотемпературного теплоносителя, связанным с блоком термодинамического цикла Ренкина посредством теплообменника, при этом управление работой электростанции осуществляется по сигналам блока управления, соединённого с датчиком солнечного излучения, **отличающаяся тем**, что дополнительно снабжена центральным контроллером, связанным с индивидуальными контроллерами гелиостатов и выполненным в виде функционально связанных модулей, включающих модуль ввода сигналов фотодатчика солнечной инсоляции, модуль ввода сигналов датчиков температуры приёмников

солнечного излучения, модуль ввода сигналов датчиков электрической нагрузки, модуль сбора и обработки данных, вычислительного модуля, модуля формирования индивидуальных целеуказаний и модуля связи с индивидуальными контроллерами гелиостатов, причём выходы модулей ввода сигналов соединены с входом модуля сбора и обработки данных, выход которого соединён с входом вычислительного модуля, выход вычислительного модуля соединён с модулем формирования индивидуальных целеуказаний, выполненным с возможностью формирования управляющих воздействий для отдельных гелиостатов или их групп, а выход указанного модуля через модуль связи соединён с индивидуальными контроллерами гелиостатов.

Компьютерный набор: Газиев М.

Заказ	Тираж	Подписное
Национальный патентно-информационный центр РТ 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а		