



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 175 013⁽¹³⁾ C2
(51) МПК⁷ C 12 N 1/12, A 01 G 33/00

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 99115666/13, 19.07.1999

(24) Дата начала действия патента: 19.07.1999

(43) Дата публикации заявки: 10.06.2001

(46) Дата публикации: 20.10.2001

(56) Ссылки: ВЕРЗИЛИН Н.Н. и др. Итоги изучения продуктивности микроводорослей в интенсивной культуре при искусственном и естественном освещении. Сборник докладов совещания "Роль низших организмов в круговороте веществ в замкнутых экологических системах". - Киев: Наукова Думка, 1979, с. 179 - 183. АЛЬБИЦКАЯ О.Н., Скотникова Г.С. Особенности интенсивного культивирования хлореллы в условиях солнечного освещения. Сборник докладов. - Киев: Наукова Думка, 1979, с. 128 - 132. ТИХОМИРОВ А.А. и др. Спектральный состав и продуктивность растений. - Новосибирск: Наука, 1991, с. 8 - 12. ПРОТАСОВА Н.Н. и др. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения. Физиология растений, т.37, вып.2, 1990, с. 386 -396.

(98) Адрес для переписки:
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр.
Мира, 37, РФЯЦ-ВНИИЭФ, ОПИНТИ,
начальнику ОПИНТИ А.А.Кимачеву или
зам.начальника ОПИНТИ Н.А.Волковой

(71) Заявитель:

Российский федеральный ядерный центр -
Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики

(72) Изобретатель: Анцышкина Н.Д.,

Воинов А.М., Воронцов С.В., Довбыш
Л.Е., Ерзина М.М., Илькаев Р.И., Маршалкин
В.Е., Пунин В.Т., Руднев А.В., Хаймович Т.И.

(73) Патентообладатель:

Российский федеральный ядерный центр -
Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики

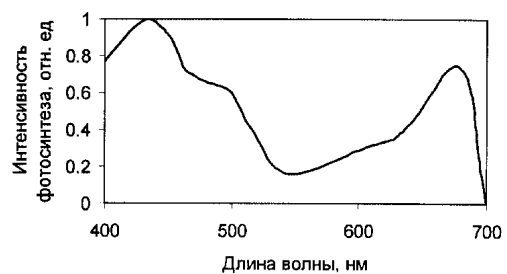
(54) СПОСОБ ИСКУССТВЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57)

Изобретение относится к биофизике и ядерной технике и предназначено для производства биологического сырья для синтеза искусственного органического топлива, кормов и гумуса. Искусственное культивирование микроводорослей осуществляют путем фотосинтеза при воздействии на них радиолюминесцентного излучения и тепла, возбуждаемого проникающими ядерными излучениями, при этом спектр радиолюминесцентного излучения может быть выбран резонансно совпадающим со спектром действия фотосинтеза. Установка для культивирования микроводорослей включает искусственный источник энергии,

преобразователь энергии искусственного источника в люминесцентное оптическое излучение и тепло и светоприемную кювету для выращивания микроводорослей. Искусственным источником энергии служит источник проникающих ядерных излучений, источником люминесцентного оптического излучения - радиолюминофор, тепло генерируется в среде источника ядерных излучений. В качестве источника ядерных излучений может быть выбран ядерный реактор, в том числе реактор-размножитель с уран-ториевым циклом, в том числе в виде решетки из ядерных радиолюминесцентных ламп, которые со всех сторон окружены светоприемными кюветами с суспензией

культивируемых микроводорослей.
 Изобретение позволит повысить
 эффективность способа и производительность
 установки. 2 с. и 4 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2 175 013 C 2

RU 2 175 013 C 2



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 175 013** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **C 12 N 1/12, A 01 G 33/00**

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99115666/13, 19.07.1999
(24) Effective date for property rights: 19.07.1999
(43) Application published: 10.06.2001
(46) Date of publication: 20.10.2001
(98) Mail address:
607188, Nizhegorodskaja obl., g. Sarov, pr.
Mira, 37, RFJaTs-VNIEhF, OPINTI,
nachal'niku OPINTI A.A.Kimachevu ili
zam.nachal'nika OPINTI N.A.Volkovoj

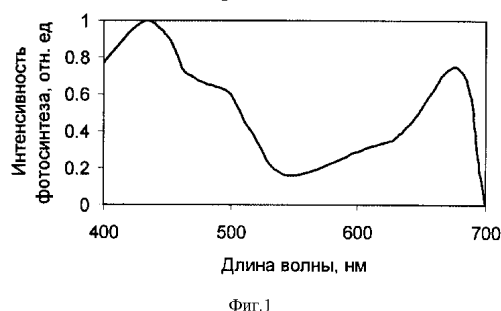
(71) Applicant:
Rossijskij federal'nyj jadernyj tsentr -
Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij
institut ehksperimental'noj fiziki
(72) Inventor: Antsyshkina N.D.,
Voinov A.M., Vorontsov S.V., Dovbysh
L.E., Erzina M.M., Il'kaev R.I., Marshalkin
V.E., Punin V.T., Rudnev A.V., Khajmovich T.I.
(73) Proprietor:
Rossijskij federal'nyj jadernyj tsentr -
Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij
institut ehksperimental'noj fiziki

(54) **METHOD AND INSTALLATION FOR SIMULATED CULTURING OF MICROALGAE**

(57) Abstract:

FIELD: biophysics and nuclear energy technology. SUBSTANCE: simulated culturing of microalgae is accomplished by photosynthesis through exposing microalgae to radioluminescent emission and heat excited by penetrating nuclear emissions, wherein spectrum of radioluminescent emission can be chosen coinciding with photosynthesis effect in resonance mode. Installation contains man-made power source, converter of energy of man-made power source into luminescent optical emission and heat, and light-admission cell for growing microalgae. Man-made power source is penetrating nuclear emission source, luminescent optical emission source is radioluminophor, and heat is generated in nuclear emission source medium. As nuclear emission source, nuclear reactor may be

chosen, including breeder with uranium-thorium cycle, in particular in the form of grid of nuclear radioluminescent lamps, which are encircled from all sides by light-admission cells with suspension of cultured microalgae. EFFECT: enhanced method efficiency and increased productivity of installation. 6 cl, 3 dwg



Изобретение относится к области культивирования микроводорослей, а более конкретно - к способам искусственного их культивирования.

Оно может быть использовано для непрерывного получения в искусственных условиях биомассы, как одного из возможных видов сырья для производства искусственного топлива, органических кормов для скота и удобрений.

Полученная биомасса, например, сбраживается для производства этилового спирта. Этиловый спирт можно использовать в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания [1]. Остаток биомассы после завершения производства этанола можно использовать как органическое удобрение для сельскохозяйственных угодий или сырье для производства кормов.

Аналогом заявляемого способа является способ культивирования микроводорослей (конкретно - хлореллы) путем фотосинтеза в условиях естественного (солнечного) и искусственного (электрического) освещения и естественного тепла [2].

Воздействие на микроводоросли света и тепла в течение дня осуществляется от Солнца. При недостатке освещения и тепла от естественного источника осуществляется дополнительное воздействие светом от люминесцентных ламп и теплом от нагревателей, запитываемых от электрической сети - искусственного источника энергии.

При использовании оптического излучения от Солнца недостатком способа-аналога является зависимость его производительности от погодных условий, широты расположения местности и других факторов, влияющих на освещенность, а также от температуры окружающей среды.

При использовании оптического излучения от люминесцентных ламп недостатком способа является необходимость использования электрической энергии, которую получают на электростанциях различного типа - тепловых, гидро- и ядерных. Электроэнергия, полученная на атомных электростанциях, является одной из самых дешевых. Эффективность преобразования энергии деления в свет, при использовании электроэнергии, полученной на АЭС, составляет $\phi_{\text{л}} \sim 0,02$ (см. ниже).

Аналогом заявляемой установки для культивирования микроводорослей является установка, описанная в [2]. Кювета установки представляет собой проточный контейнер объемом 100 литров и светоприемной поверхностью 7 м^2 , заполненный суспензией микроводорослей хлореллы. Засветка от Солнца штаммов микроводорослей хлореллы происходила в течение светового периода суток. Осуществлялось также утреннее и вечернее освещение биосуспензии с помощью электрических люминесцентных ламп ДРЛ-1000. Электрические люминесцентные лампы являются преобразователями энергии внешнего искусственного источника энергии, в данном случае - источника электроэнергии, в люминесцентное оптическое излучение. Таким образом, воздействие светом производилось с помощью как естественного, так и искусственного источников энергии - Солнца и электростанции. Источником тепла служил только естественный источник энергии - Солнце. Максимальная продуктивность

данной установки без использования ламп составила 45 грамм сухого вещества на 1 м^2 светоприемной поверхности в сутки.

Недостатком установки при использовании естественного освещения является зависимость ее производительности от погодных и климатических условий. Другим недостатком является то, что такой тип установки с большой производительностью потребует для своего размещения значительных площадей, т.к. для освещения суспензии водорослей от Солнца требуется горизонтальное расположение светоприемной поверхности установки относительно поверхности Земли.

Недостатком установки при использовании освещения только от люминесцентных ламп является потребность в электрической энергии. Недостаток заключается в том, что при использовании электрической энергии как промежуточной эффективность преобразования энергии первичного искусственного источника энергии в люминесцентное оптическое излучение низкая (см. ниже).

Прототипом заявляемого способа является способ культивирования микроводорослей в условиях воздействия искусственного освещения и искусственного тепла от искусственного источника энергии [3].

Суспензия микроводорослей размещается в кюветах с плоскопараллельными светоприемными поверхностями. Емкость каждой кюветы - 1,2 л. Воздействие на кювету искусственного освещения производится постоянно, от электрических люминесцентных ламп ДКСТВ-6000 или ДРЛ-1000. Температура внутри кюветы стабилизируется на нужном уровне с помощью искусственного источника тепла - электрических подогревателей.

Недостатком данного способа является необходимость использования источника электрической энергии для запитывания люминесцентных ламп. Эффективность преобразования энергии первичного искусственного источника в люминесцентное излучение при этом низкая.

Другим недостатком данного способа является необходимость использования дополнительного искусственного источника энергии для поддержания заданной температуры внутри кюветы, в данном случае - таким источником энергии также является источник электрической энергии.

Прототипом заявляемой установки для культивирования микроводорослей является установка, описанная в [3]. Это установка представляет собой набор кювет объемом по 1,2 литра каждая и плоскопараллельными светоприемными поверхностями. Кюветы заполнены суспензией микроводорослей и постоянно освещаются электрическими люминесцентными лампами ДКСТВ-6000 или ДРЛ-1000. Электрические люминесцентные лампы являются преобразователями энергии внешнего искусственного источника энергии, в данном случае - источника электроэнергии, в люминесцентное оптическое излучение. Температура кюветы стабилизировалась на нужном уровне с помощью искусственного источника тепла - электрических подогревателей.

Максимальная продуктивность данной установки составила 40 грамм сухого вещества биомассы на 1 м^2 светоприемной

поверхности в сутки.

Недостатком установки с искусственным источником тепла для поддержания заданной температуры является необходимость использования дополнительного источника энергии. В данном случае таким источником энергии служит источник электрической энергии.

Таким образом, невозможность достижения технического результата на основе способа-аналога и способа-прототипа, а также с помощью установки-аналога и установки-прототипа связана с их низкой производительностью, обусловленной необходимостью потребления больших количеств электрической энергии. При этом эффективность преобразования энергии первичного источника в оптическое излучение низкая. Использование в этой ситуации отдельного искусственного источника тепла потребует дополнительного расхода энергии для его работы. В случае, когда используется солнечное освещение, появляется зависимость от погодных условий. Помимо этого установка перестает быть компактной и требует больше площади под размещение.

Задача состоит в разработке высокопроизводительного способа и компактной высокопроизводительной установки для искусственного культивирования микроводорослей. Ее актуальность подтверждается сложившимися к концу XX века обстоятельствами.

Современный уровень потребления нефтепродуктов превышает $3 \cdot 10^9$ тонн/год [4]. Ограниченность природных запасов нефти (разведанных запасов $\approx 1,2 \cdot 10^{11}$ тонн, общие, по прогнозу, - $(2-3) \cdot 10^{11}$ [4]) предопределяет необходимость перехода в дальнейшем на искусственное топливо для двигателей внутреннего сгорания. Перспективным и освоенным направлением является производство топлива в виде этанола из биомассы [1].

Еще более острой проблемой является деградация почв и разрушение почвенного покрова, обусловленных не только интенсификацией сельского хозяйства, но и добычей полезных ископаемых, урбанизацией, накоплением отходов. Например, только в России для компенсации потерь гумуса требуется, ежегодно, около $1,5 \cdot 10^9$ тонн органических удобрений, тогда как реальные ресурсы не превышают $1 \cdot 10^9$ тонн/год [5].

Масштабы производства органического топлива и удобрений определяются, в первую очередь, возможностью искусственного выращивания в необходимом количестве сырья, что может быть реализовано использованием для этих целей микроводорослей, обладающих большой скоростью воспроизводства - удвоением начальной биомассы в течение суток [6].

Технический результат в заявляемом способе состоит в интенсификации процесса искусственного культивирования микроводорослей путем увеличения коэффициента преобразования энергии первичного искусственного источника энергии в люминесцентное оптическое излучение.

Технический результат в способе искусственного культивирования микроводорослей путем фотосинтеза достигается тем, что, в отличие от известного способа, заключающегося в

воздействии на микроводоросли люминесцентного оптического излучения от искусственного источника энергии и тепла от искусственного источника энергии, в предлагаемом способе искусственным источником энергии служит энергия ядерных излучений. При этом люминесцентное излучение получают за счет эффекта радиолюминесценции, а тепло получают за счет преобразования энергии ядерных излучений непосредственно в самом источнике ядерных излучений - при рассеивании энергии ядерных излучений в его среде.

Кроме того, спектр получаемого радиолюминесцентного излучения, за счет подбора радиолуминофора, выбирают резонансно совпадающим со спектром действия фотосинтеза.

Технический результат в заявляемой установке состоит в повышении производительности процесса искусственного культивирования микроводорослей путем увеличения коэффициента преобразования энергии первичного искусственного источника энергии в люминесцентное оптическое излучение, а также за счет использования искусственного источника тепла, не требующего внешнего источника энергии.

Технический результат в установке культивирования микроводорослей достигается за счет того, что в отличие от известной установки, включающей искусственный источник энергии, преобразователь энергии искусственного источника в люминесцентное оптическое излучение, преобразователь энергии искусственного источника в тепло, светоприемную кювету для облучения микроводорослей, в предлагаемой установке источником энергии служит источник ядерных излучений, преобразователем энергии искусственного источника в люминесцентное оптическое излучение выбран радиолуминофор, преобразующий энергию проникающих излучений источника в оптическое излучение, а преобразователем энергии искусственного источника в тепло выбран сам источник ядерного излучения.

Кроме того, в качестве такого источника ядерных излучений может быть выбран ядерный реактор.

Кроме того, в качестве ядерного реактора может быть выбран реактор с уран-ториевым топливным циклом.

Кроме того, светоприемные поверхности кюветы для облучения суспензии микроводорослей могут располагаться по периферии радиолуминофора, окружая его со всех сторон.

При освещении водорослей люминесцентным оптическим излучением от электрических ламп и тепловом воздействии от электрических подогревателей недостатком способа-прототипа является необходимость использования электрической энергии. Если рассмотреть процессы, связанные с получением электроэнергии, например, на атомных электростанциях, то цепочка преобразования ядерной энергии в энергию оптического излучения, с коэффициентами преобразования, будет следующей.

Энергия деления $\Rightarrow (\alpha_1) \Rightarrow$. Кинетическая энергия осколков $\Rightarrow (\beta_1) \Rightarrow$ Тепловая

энергия $\Rightarrow (\kappa_1) \Rightarrow$ Электрическая
энергия $\Rightarrow (\delta_1) \Rightarrow$ Передача
электроэнергии $\Rightarrow (\varepsilon_1) \Rightarrow$ Энергия оптического
излучения.

Примерно 82% всей энергии деления выделяется в виде кинетической энергии осколков: $\alpha_1 = 0,82$. Можно считать, что при работе ядерного реактора она практически полностью преобразуется в тепло: $\beta_1 = 1$. КПД реакторного блока при производстве электроэнергии составляет $\approx 30\%$: $\kappa_{11} = 0,3$. При передаче и распределении электрической энергии ее потери составляют от 10% до 20%: $\delta_1 = 0,85$. Используемые сейчас люминесцентные лампы имеют среднее значение светового потока $F = 4000$ лм. Причем, $\approx 85\%$ светового потока у них распределено в интервале 500 - 600 нм. Спектральная видность для данного интервала длин волн составляет $V \approx 600$ лм/Вт. Таким образом, коэффициент полезного действия на основном спектральном диапазоне для этих ламп можно определить

как
$$\varepsilon_1 = 0,85 \frac{1}{V} \frac{F}{W} = 0,1. \quad \text{Значит}$$

эффективность всей рассмотренной цепочки преобразований составит: $\phi_1 = \alpha_1 \beta_1 \kappa_1 \delta_1 \varepsilon_1 = 0,021$.

Для создания технологии устойчивой генерации биомассы в искусственных условиях требуется независимый от Солнца источник световой и тепловой энергии длительного действия. Масштаб времени, в течение которого должен действовать такой источник, должен быть сопоставим со временем эксплуатации природных запасов нефти, т.е. составлять одно-два столетия.

Такого источника в настоящее время нет. Применение каменного угля для тепловых электростанций исключено из-за большого количества излишнего парникового газа, которое не ассимилируется в процессе общего фотосинтеза на планете. Единственным подходящим искусственным источником энергии, не производящим излишнего "парникового" газа, следует считать ядерный реактор, являющийся источником проникающих ядерных излучений и низкотемпературного тепла. Как уже указывалось, коэффициент преобразования энергии деления в тепло составляет $\alpha_1 \beta_1 = 0,82$. Коэффициент преобразования энергии деления в энергию проникающего излучения составит, для гамма-излучения, $\alpha_2 = 0,1$ (в нашем случае изберем только этот вид проникающего излучения, пренебрегая нейтронами утечки и нейтрино).

Использование в качестве искусственного источника энергии источника ядерных излучений позволяет организовать процесс одноступенчатого преобразования энергии источника в оптическое излучение и тепло. Для этого используется преобразователь энергии ядерных излучений в оптическое излучение - радиолюминофор.

Оптическое излучение по своей природе бывает тепловым и люминесцентным. Спектр теплового излучения определяется абсолютной температурой рабочего тела, и распределение энергии в нем подчиняется

закону Планка.

Люминесцентное излучение не связано непосредственно с тепловым состоянием тела и возникает при локализованном поглощении внешней энергии атомами и молекулами среды с последующим переизлучением ее в виде отдельных линий и полос света. Рабочим телом - люминофором могут быть как конденсированные среды - твердые или жидкие, так и газообразные.

Механизм ядерно-возбуждаемой люминесценции (радиолюминесценции) в газах включает в себя процессы образования возбужденных атомов и ионов газа-буфера с высокими потенциалами возбуждения с дальнейшей передачей энергии на атомы газа-добавки с малым потенциалом ионизации и возбуждения. В результате плазменных процессов происходит заселение уровней, переходы с которых образуют оптический спектр люминесценции. Полосы излучения могут быть сформированы в спектральном диапазоне от 0,2 до 3,5 мкм путем подбора характеристик активной среды.

Исследованы радиолюминесцентные свойства большинства известных люминесцентных конденсированных сред (сцинтилляторов), таких как щелочно-галогидные кристаллы, органические пластмассы, органические и неорганические жидкости, для которых были изучены зависимости световых выходов от типа и концентрации активатора, от дозы и мощности облучения.

Выявлены особенности и показаны преимущества радиолюминесцентных источников света по сравнению с традиционными источниками: возможность увеличения светимости за счет увеличения толщины излучающего слоя, вариация длины волны излучения подбором типа матрицы фосфора и активатора, на основе которых изготовлены твердотельные радиолюминофоры - сцинтилляторы, возможность выбора произвольной конфигурации источника.

Например, в импульсных условиях возбуждения энергетическая светимость кристалла толщиной 40 мм составляла ≈ 10 Вт/см² • нм. Для достижения таких мощностей свечения источник, излучающий по закону Планка, должен иметь температуру $1,4 \cdot 10^4$ К.

Эффективность преобразования энергии проникающих ядерных излучений в люминесцентное излучение в проводившихся опытах составляла 5-10%. Но необходимо отметить, что и плотность потока возбуждающих частиц достигала в них 10^{19} см⁻² • с⁻¹. Режим по плотности возбуждения в фотосинтезирующей установке на много порядков слабее, в этом случае эффективность радиолюминесценции возрастает до 20-24%. Достигнутый уровень эффективности кристаллов составляет 34% [7].

Примем, таким образом, коэффициент преобразования энергии проникающего излучения в оптическое излучение $\beta_2 = 0,25$.

Физические механизмы и процессы, приводящие рабочую среду в возбужденное состояние, носят беспорядочный характер и могут быть реализованы и при использовании небольшого количества делящегося материала и при низком удельном

энерговыведении. Это позволяет говорить о более высоком уровне безопасности в сравнении с существующими энергетическими ядерными реакторами.

Эффективность одноступенчатого процесса преобразования энергии деления в оптическое излучение через энергию проникающих излучений составит $\phi_2 = \alpha_2 \beta_2 = 0,25$. При этом выделяемая тепловая энергия, а это, как указывалось, около 80% от всей энергии деления, не участвует в процессе получения света и может быть использована на поддержание наиболее благоприятной для культивирования микроводорослей температуры.

В условиях же, когда для получения света и тепла в качестве промежуточной энергии используется энергия электрическая, часть ее тратится на поддержание заданной температуры суспензии микроводорослей:

$$E_1^{\text{обогрев}} = \mu E^{\text{электрич}}$$

Остальная часть идет на получение оптического излучения для освещения микроводорослей:

$$E_1^{\text{освещение}} = (1 - \mu) \delta_1 \epsilon_1 E^{\text{электрич}}$$

Как уже описывалось, энергия деления преобразуется в электрическую энергию с коэффициентом:

$$E^{\text{электрич}} = \alpha_1 \beta_1 \kappa_1 E^{\text{деления}}$$

Следовательно,
освещение

$$E_1 = (1 - \mu) \delta_1 \epsilon_1 \alpha_1 \beta_1 \kappa_1 E^{\text{деления}} = 0,02(1 - \mu) E^{\text{деления}}$$

Для одноступенчатого процесса вся тепловая энергия может идти на обогрев суспензии: $\mu = 0$. Тогда,

$$E_2^{\text{освещение}} = \alpha_2 \beta_2 E^{\text{деления}} = 0,025 E^{\text{деления}}$$

Сравнивая эффективность используемого процесса для $E_1^{\text{освещение}}$ и предлагаемого процесса для $E_2^{\text{освещение}}$ получим:

$$E_2^{\text{освещение}} = \frac{0,025}{0,02(1 - \mu)} E_1^{\text{освещение}}, 0 < \mu < 1$$

$$\text{То есть, } E_2^{\text{освещение}} > E_1^{\text{освещение}}$$

Таким образом, выбор ядерных излучений в качестве источника энергии для получения люминесцентного оптического излучения и осуществление при этом воздействия на микроводоросли определенным типом люминесцентного оптического излучения - радиолюминесцентным излучением, в сочетании с выбором в качестве источника теплового воздействия самого источника ядерных излучений, позволяет получить технический результат, достигаемый в предлагаемом способе тем, что, в отличие от способа-прототипа, где освещение суспензии микроводорослей осуществляется с помощью электрических люминесцентных ламп, а тепловое воздействие от электрических подогревателей, в предлагаемом способе используется более эффективный механизм получения света - прямое преобразование

энергии проникающих излучений, что позволяет обойтись без многоступенчатого процесса преобразования энергии, свойственного получению света от электрических ламп:

5 топливо (уран, уголь) ----> электричество
--- > свет,

а выбор в предлагаемом способе в качестве источника теплового воздействия самого источника ядерных излучений избавляет от необходимости расходовать промежуточную электрическую энергию на подогрев суспензии микроводорослей.

Выбор преобразователем энергии искусственного источника в тепло самого источника ядерного излучения и осуществление, при этом, воздействия на микроводоросли теплом, выделяемом при рассеянии энергии ядерных излучений в среде источника, позволяет получить технический результат, достигаемый в предлагаемой установке тем, что, в отличие от установки-прототипа, где обогрев суспензии микроводорослей осуществляется электрическими подогревателями, в предлагаемой установке отпадает необходимость использования дополнительного источника энергии для искусственного источника тепла.

20 Таким образом, выбор ядерных излучений в качестве источника энергии для получения люминесцентного оптического излучения и выбор преобразователем энергии искусственного источника в тепло самого источника ядерного излучения позволяет увеличить производительность способа искусственного культивирования микроводорослей для наработки биомассы в целях промышленного производства искусственного топлива, органических удобрений и кормов.

35 Как уже упоминалось, спектр теплового излучения определяется абсолютной температурой рабочего тела, и распределение энергии в нем подчиняется закону Планка. При температуре 6000 К (температуре поверхности Солнца) спектры излучения искусственного и естественного источников совпадают, и в этих условиях в полосу поглощения пигментов хлорофилла и каротиноидов попадает $\approx 15\%$ от общего потока световой энергии. Наибольшее распространение в промышленности получили люминесцентные источники света, возбуждаемые электрическим разрядом. В качестве наполнителей в них обычно применяются инертные газы в смеси с парами металлов (ртути, натрия), галогенов. Светоотдача и спектр излучения могут также варьироваться за счет применения в газоразрядных источниках слоев твердых люминофоров, нанесенных на внутреннюю стенку колб.

55 Величина давления газа в различных типах ламп колеблется в диапазоне 0,1 Па-25 кПа (лампы низкого давления) и 25 кПа-1 МПа (лампы высокого давления). При низких давлениях и малых плотностях тока спектр излучения разряда является линейчатым и состоит из отдельных узких линий. По мере повышения давления и плотности тока происходит размытие линий, и появляются полосы и непрерывный фон, обусловленный излучением возбужденных квазимолекул и процессами рекомбинации электронов и ионов, образующихся в плазме разряда.

Например, свечение в разряде чистых инертных газов Ar, Xe, Kr, Ne при давлениях $\approx 10^4$ Па и токах 1000-2000 А/см² имеет характер ярко выраженных полос на фоне непрерывного спектра той или иной интенсивности. Подбором смесей газов с различным относительным давлением можно получить практически любые спектры излучения.

Искусственные источники света, которые применяются для освещения растений в теплицах и оранжереях, излучают свет в широком спектральном интервале, следовательно, значительная часть их энергии расходуется непроизводительно, т.к. тепловой режим обеспечивается другими - независимыми источниками энергии.

Если сопоставить спектральные характеристики различных типов люминесцентных электрогазоразрядных источников света со спектром поглощения пигментов хлорофилла и каротиноидов, то можно видеть, что в полосу их поглощения попадает лишь незначительная часть световой энергии. Поглощение света пигментами хлорофилла и каротиноидов, обеспечивающее энергетику фотохимических реакций в растениях, происходит в двух спектральных интервалах: 670-695 нм и 420-440 нм, т.е. носит в основном резонансный характер.

Поэтому дополнительным резервом для повышения производительности получения биомассы является переход к возможности "резонансной засветки" хлорофилла светом, спектр излучения которого совпадает с полосами поглощения хлорофилла. На фиг. 1 показана зависимость интенсивности фотосинтеза от длины волны воздействующего оптического излучения - спектр действия фотосинтеза [8, 9]. Использование эффекта радиолюминесценции позволит получить с помощью подбора состава радиолуминофора оптическое излучение со спектром, близким к спектру действия хлорофилла. Как свидетельствует сельскохозяйственная практика, применение "резонансной засветки" растений способно, в некоторых случаях, дать прибавку урожая в несколько раз [10, 11].

В связи с вышеописанным, сущность для заявляемой установки состоит в следующем. Выбор ядерных излучений в качестве источника энергии для осуществления оптического и теплового воздействия на микроводоросли позволяет увеличить производительность процесса наработки биомассы в целях промышленного производства искусственного топлива, органических удобрений и кормов. Использование в качестве преобразователя энергии ядерного излучения радиолуминофора позволяет отказаться от многоступенчатого процесса получения оптического излучения, необходимого для освещения микроводорослей. А использование в качестве преобразователя энергии ядерного излучения в тепло самого источника ядерных излучений дает возможность отказаться от дополнительного источника энергии для преобразователя энергии искусственного источника в тепло, необходимого для поддержания оптимальной температуры суспензии микроводорослей.

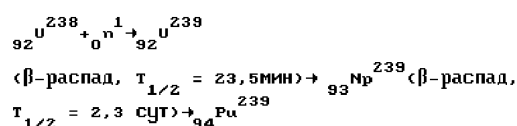
В настоящее время источником достаточно

мощного потока ядерных излучений, необходимого для получения требуемого количества света и тепла для воздействия на кювету с суспензией микроводорослей, емкостью несколько кубических метров, который, к тому же, способен устойчиво проработать несколько лет или десятков лет является ядерный реактор. Ядерный реактор - это устройство, в котором может протекать самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер некоторых тяжелых элементов (²³⁵U, ²³⁹Pu, ²³³U), вызываемая нейтронами.

Впервые возможность использования энергии деления возникла после открытия цепной реакции деления урана. Однако имеющихся запасов природного ²³⁵U (≈ 30 тыс. тонн) недостаточно для длительной эксплуатации имеющихся в мире ядерных установок большой мощности, типа ВВР. В промышленном масштабе до сих пор не удалось реализовать цикл расширенного воспроизводства ядерного горючего в реакторах на быстрых нейтронах [12].

Для создания специализированной ядерной установки длительного действия для светового облучения биомассы водорослей - ядерной лампы (ЯЛ), следует реализовать уран-ториевый топливный цикл на тепловых нейтронах с воспроизводством ядерного горючего (в данном случае - ²³³U).

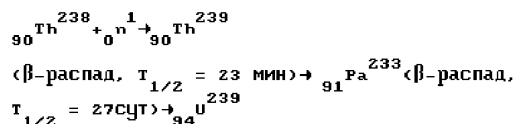
В природе существует только один вид ядерного топлива - вещества, способного обеспечить самоподдерживающуюся цепную реакцию ядерного деления - изотоп ²³⁵U, который содержится в естественном ²³⁸U в количестве 0,7%. ²³⁸U не является ядерным топливом, но может служить сырьем для производства искусственного ядерного топлива ²³⁹Pu. В современных реакторах выгорание (расщепление ядерного топлива) ²³⁵U сопровождается конверсией загружаемого вместе с ним ²³⁸U по следующей схеме:



Полученный в результате ²³⁹Pu можно использовать как искусственное ядерное топливо для получения энергии и конверсии следующей части ²³⁸U, количество запасов которого в природе в сто с лишним раз больше запасов ²³⁵U. Для полного использования всех природных запасов ²³⁸U необходимо, чтобы количество образовавшегося за один цикл нового топлива было больше полного количества израсходованного топлива. Соотношение этих величин называется коэффициентом воспроизводства, и для замкнутого цикла он, соответственно, должен быть больше единицы. В случае быстрых реакторов, т.е. ядерных реакторов, у которых средняя энергия по спектру нейтронов составляет $\approx 10^5$ эВ, этот коэффициент может достигать значения 2 [13], но для работы быстрого реактора необходимо высокообогащенное топливо. Например, для урана степень обогащения должна быть 15-25%. Быстрый реактор также является высоконапряженной энергосистемой, так как

ему постоянно необходим интенсивный теплосъем в активной зоне с помощью теплоносителя на основе натрия - по двух- или трехконтурной схеме. Дешевый и эффективный теплосъем с помощью воды не пригоден, поскольку вода является хорошим замедлителем нейтронов, что не позволяет получать в таких реакторах коэффициент воспроизводства больше единицы. Поэтому для поставленной задачи создания безопасной ядерной лампы длительного действия необходим, прежде всего, надежный реактор с низким удельным энерговыделением. Таким реактором мог бы служить тепловой реактор, т.е. ядерный реактор, в котором деление ядер топлива происходит под воздействием тепловых нейтронов, т.е. нейтронов, образующихся в результате замедления быстрых нейтронов ядрами замедлителя (H_2O , D_2O , графит и т.п.). Делящиеся изотопы топлива в области малых энергий нейтронов обладают большими сечениями деления, что позволяет реактору работать при малых нагрузках делящегося вещества. Использование обычной (легкой) воды или тяжелой воды в качестве замедлителя и теплоносителя в гомогенном тепловом реакторе, т.е. реакторе, в котором топливо растворено в замедлителе, позволяет создать безопасный самогасящийся реактор, прекращающий свою работу при перегреве теплоносителя или при его утечке.

Однако, с точки зрения коэффициента воспроизводства, указанный тип реактора мало эффективен. Значение коэффициента воспроизводства ядерного топлива больше единицы [13] возможно лишь для так называемого ториевого цикла, в котором сырьем для получения искусственного ядерного топлива служит природный изотоп ^{232}Th , а образующимся новым топливом является изотоп ^{233}U . Конверсия тория происходит по следующей схеме:



Имеющиеся запасы тория на Земле примерно втрое больше, чем урана и позволят работать реакторам в ториевом цикле значительно дольше, чем в описанном выше уран-плутониевом цикле [14]. Реализация уран-ториевого топливного цикла при создании искусственного источника энергии для установки по выращиванию микроводорослей обеспечит возможность длительного функционирования подобной установки, т.к. имеющихся на Земле запасов тория при предполагаемых масштабах наработки биомассы для промышленного производства искусственного топлива и удобрений хватит на несколько сотен лет.

Наиболее привлекательным вариантом ЯЛ представляется реактор-размножитель, т.е. реактор с коэффициентом воспроизводства большим единицы, с использованием топлива в виде гомогенного раствора соли ^{235}U (или плутония) в смеси (или отдельно) с раствором соли ^{232}Th (или суспензии ThO_2) в легкой (или тяжелой) воде.

Предпосылкой к такому выбору может служить создание в США в начале 60-х годов Окриджской Национальной Лабораторией

реактора-размножителя HRE-2 [15]. Двухлетний опыт эксплуатации HRE-2 позволил успешно решить основные проблемы по управлению мощностью путем поддержания заданных свойств раствора, непрерывной очистки топлива, регенерации продуктов радиолиза и других. Но успеху в целом помешала ускоренная коррозия корпуса активной зоны, вызванная высокой температурой раствора ($\approx 300^\circ C$) и наличием в ней застойных зон, способствующих выпадению топлива в осадок.

В то же время опыт создания и эксплуатации небольших гомогенных реакторов "водоподогревателей", созданных в США, России, Франции, свидетельствует о высокой надежности и безопасности растворных реакторов, если температура раствора и удельное энерговыделение в них ограничены значениями $100^\circ C$ и ≈ 2 кВт/л, соответственно. На протяжении трех десятков лет они применяются как мощные лабораторные импульсные и непрерывные источники ядерных излучений и превосходно подходят для изучения характеристик и создания радиoluminesцентных источников света - ядерных ламп (ЯЛ) [16].

Начиная с 60-х годов в СССР, США и других странах интенсивно исследовалась возможность прямого преобразования энергии деления урана (плутония) в оптическое излучение с применением ядерных реакторов. Достигнутые результаты, подробно изложены на международных конференциях, в том числе ЛЯН-92[17] и ЛЯН-94[18], подтверждают возможность создания мощных радиoluminesцентных источников света с помощью специализированных ядерных реакторов различного типа.

На фиг. 1 представлена зависимость интенсивности фотосинтеза от длины волны воздействующего оптического излучения.

На фиг. 2 показано схематическое изображение реактора-конвертора (ЯЛ).

На фиг. 3 показано схематическое изображение биоконцентра на основе ЯЛ.

Схематическое изображение ЯЛ представлено на фигуре 2.

Активная зона на водном растворе соли $^{235}U(1)$ окружена зоной воспроизводства на водном растворе соли $^{232}Th(2)$, вокруг которой располагается оболочка радиolumинофора (3), представляющая собой либо твердый радиolumинофор, либо контейнер с прозрачной для оптического излучения внешней поверхностью (4), наполненный жидким или газообразным радиolumинофором, например, неоном. Небольшая активная зона воспроизводящего реактора-водоподогревателя (диаметр ≤ 50 см) является искусственным источником ядерных излучений и, одновременно, преобразователем энергии ядерных излучений в тепло. Радиolumинофор, окружающий снаружи активную зону, является преобразователем энергии ядерных излучений в люминесцентное оптическое излучение. Описанная конструкция, в совокупности, может рассматриваться как ядерная лампа непрерывного действия.

Нейтронно-физические характеристики реактора с уран-ториевым топливом должны быть выбраны из условия достижения максимального коэффициента

воспроизводства ²³³U. В этих условиях поток нейтронов утечки из активной зоны и зоны воспроизводства должен быть сведен к нулю. Конвертор возбуждается главным образом гамма-излучением, доля которого в общем энергетическом балансе реактора составляет ≈10%. Примем для оценок, что объем раствора в активной зоне равен 100 л, удельное энерговыделение 2 кВт/л и общая тепловая мощность ЯЛ составляет 200 кВт.

Тогда, если энергетический КПД радиолюминофора равен 20%, мощность оптического источника составит 4 кВт в спектральном интервале для фотоактивации хлорофилла.

Кроме того, тепло, образующееся при работе ядерного реактора, позволяет исключить зависимость эффективности работы установки для культивирования микроводорослей от температуры окружающей среды, причем, без привлечения дополнительного источника тепла, что также повысит эффективность производства микроводорослей.

Касаясь особенностей размещения кюветы, можно отметить, что расположение кюветы по периферии радиолюминофора с окружением его со всех сторон позволит увеличить эффективность использования выходящего с поверхности люминофора света за счет увеличения площади приема световой энергии.

В условиях солнечного освещения выращивание микроводорослей осуществляется в тонком слое суспензии, освещаемом снаружи солнечным светом. Создание искусственного объемного источника света может многократно увеличить освещаемую поверхность кюветы с суспензией микроводорослей и тем самым повысить выход биомассы, отнесенный к внешней поверхности промышленной площадки, до 1 кг/(м² • сутки) и более.

Можно представить себе конструкцию установки для культивирования микроводорослей в виде биоконтекста, схематически показанного на фиг. 3. Требуемое число ЯЛ размещается в решетке с шагом 2 м на глубине 3 м в обширном искусственном водоеме. По границам решетки ЯЛ, на расстоянии 1 м от поверхности ЯЛ (4), располагаются трубопроводы (5), по которым прокачивается суспензия микроводорослей и которые являются, в данном случае, светоприемной кюветой для оптического воздействия на суспензию.

В этой геометрии создаются условия для всестороннего облучения биокультуры с необходимой для фотосинтеза плотностью светового потока ≈ 4•10 Вт/см², причем общая освещенная поверхность системы трубопроводов, установленных равномерно вокруг ЯЛ внутри бассейна, превышает внешнюю поверхность водоема, освещаемую дневным светом, по крайней мере в четыре раза, так как в сферическом приближении соотношение площади поверхности сферы к ее проекции на плоскость равно четырем. В то время как для установки с облучением микроводорослей в естественных условиях (источник света - Солнце) соотношение площади освещаемой поверхности к площади, занимаемой установкой, равно единице, когда Солнце находится в зените, т.е. без учета среднеловного отклонения Солнца от этого

положения. Таким образом, производительность предлагаемой установки, по сравнению с ее аналогом, на той же площади будет как минимум в четыре раза выше, при равных параметрах светового воздействия.

Когда реактор выходит на заданный режим работы, т.е. когда в нем начинает идти самоподдерживающаяся управляемая цепная реакция ядерного деления - он становится источником ядерных излучений - проникающих ионизирующих излучений и осколков деления. Кинетическая энергия осколков деления преобразуется в тепло за счет торможения в среде активной зоны реактора. Проникающие ядерные излучения из активной зоны проникают в люминофор и приводят его среду в возбужденное состояние. Возбуждение среды снимается испусканием электромагнитного излучения оптического диапазона. Оптическое излучение выводится из люминофора и через объем окружающей ядерную лампу воды поступает к светоприемной поверхности трубопроводов, где происходит его воздействие на микроводоросли.

Теплоотвод с реактора осуществляется прокачиванием раствора активной зоны, либо зоны воспроизводства через теплообменники, тепло с которых поступает на обогрев суспензии микроводорослей.

Что касается генетической устойчивости культивируемой популяции хлореллы, то всегда можно иметь "питомник", откуда периодически свежие партии культуры могут передаваться на производственные площадки для стабилизации технологического процесса. Жизненный цикл хлореллы равен примерно 20-22 часам [6], т.е. за это время общая биомасса микроводорослей увеличится в е ≈ 2,7 раза. Защитный слой воды, толщиной ≈ 1 м, между ЯЛ и трубопроводом с биокультурой снижает мощность дозы гамма-излучения на его поверхности до значения менее 10 рад/сутки. При съеме "урожае" не реже одного раза в сутки это обеспечит в зоне выращивания биомассы приемлемую суточную дозу нейтронного и гамма-излучения, которая, по современным воззрениям, составляет до 10⁴ рад.

Таким образом, в условиях воздействия освещения и тепла от искусственного источника энергии микроводоросли могут культивироваться с помощью более эффективного способа и на более производительной установке, - когда искусственным источником энергии служат ядерные излучения.

Коэффициент преобразования энергии первичного искусственного источника энергии в люминесцентное оптическое излучение в предлагаемом способе больше, чем в традиционном:

$$\frac{E_{\text{предлагаемый}}}{E_{\text{традиционный}}} = \frac{0,025}{0,021(1-\mu)} = 1,19 \frac{1}{1-\mu} \frac{E_{\text{традиционный}}}{E_{\text{традиционный}}}$$

где μ - доля электрической энергии, затрачиваемая в традиционном способе на обогрев суспензии ($0 < \mu < 1$). Основная доля электрической энергии в традиционном способе тратится именно на получение света, а не тепла, и коэффициент μ , по своему

значению, в этом способе скорее будет близок к нулю, чем к единице и, соответственно, соотношение коэффициентов преобразования не будет обращаться в бесконечность. Однако в данном случае значение коэффициента μ не будет нулевым, в отличие от предлагаемого способа, где энергия, идущая на получение света, на тепло не тратится. Это увеличит соотношение коэффициентов преобразования энергии первичного искусственного источника для традиционного и предлагаемого способов больше, чем в 1,19 раза в пользу предлагаемого способа, как следует из формулы.

Производительность предлагаемой установки по отношению к производительности установки-аналога, при равных параметрах светового воздействия, будет, как минимум, в четыре раза выше, так как при одинаковой занимаемой установками площади соотношение площадей их светоприемных поверхностей составит не менее 4.

Таким образом, процесс интенсификации в заявляемых условиях достигнут, и реализовано назначение - культивирование микроводорослей с достижением технического результата - повышением производительности.

Источники информации

1. Брандт Д. Производство этанола ферментацией биомассы. Сборник трудов "Биомасса как источник энергии". М.: "Мир", 1985. С. 307-337.

2. Альбицкая О. Н., Скотникова Г.С. Особенности интенсивного культивирования хлореллы в условиях солнечного освещения. Сборник докладов совещания "Роль низших организмов в круговороте веществ в замкнутых экологических системах". Киев: "Наукова Думка", 1979. С. 128-132.

3. Верзилин Н.Н., Маслов Ю.И., Михайлов А.А. Итоги изучения продуктивности микроводорослей в интенсивной культуре при искусственном и естественном освещении. Сборник докладов совещания "Роль низших организмов в круговороте веществ в замкнутых экологических системах". Киев: "Наукова Думка", 1979. С. 179-183.

4. Химическая энциклопедия. М.: "Большая Российская энциклопедия", 1992. Т. 3. С. 230-236.

5. Тейт Р. III. Органическое вещество почвы. М.: "Мир", 1991. С. 1-9, 359-383.

6. Шевченко В. А. Радиационная генетика одноклеточных водорослей. М.: "Наука", 1979. С. 8-12.

7. Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочно-галоидных кристаллов. Рига: "Зинатне", 1979. С. 188-189.

8. Ясников А.А. и др. Фотосинтез. Химические модели и механизмы. Киев: "Наукова думка", 1989.

9. Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника. М.: "Мир", 1990.

10. Тихомиров А. А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав и продуктивность растений. Новосибирск: "Наука", сибирское отделение, 1991.

11. Протасова Н.Н., Уеллс Дж.М., Добровольский М.В. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях

искусственного освещения. Физиология растений. Т. 37. Выпуск 2, 1990. С. 386-396.

12. Мировая энергетика в XXI веке: международное аналитическое исследование. Подготовлено Энергетическим центром. Всемирной Федерацией ученых, под руководством академика Велихова Е.П.: 6 мая, 1998.

13. Физический энциклопедический словарь. Т. 1. М.: "Советская энциклопедия", 1960. С. 325.

14. Использование тория в ядерных реакторах. Государственный комитет по использованию атомной энергии. М.: "Атомиздат", 1978.

15. Бриггс Р.Б., Суортаут Дж.А. Водяные гомогенные энергетические реакторы. Доклад Р/496 на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955. М.: "Госэнергоиздат", 1958.

16. Воинов А. М., Левицкий И.В., Мельников С.Ф. Анализ безопасности водного гомогенного импульсного реактора ВИР-2М. Научно-технический сборник: Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика ядерных реакторов. Выпуск 2. М., 1991. С. 9-19.

17. Физика ядерно-возбуждаемой плазмы и проблемы лазеров с ядерной накачкой (ЛЯН-92). Труды конференции в 3-х томах. Обнинск: "ФЭИ", 1993.

18. Физика ядерно-возбуждаемой плазмы и проблемы лазеров с ядерной накачкой (ЛЯН-94). Труды конференции в 2-х томах. Арзамас-16: "ВНИИЭФ", 1995.

Формула изобретения:

1. Способ искусственного культивирования микроводорослей путем фотосинтеза при воздействии на них люминесцентного оптического излучения и тепла, вызванных от искусственного источника энергии, отличающийся тем, что искусственным источником энергии для генерации люминесцентного оптического излучения и тепла служит энергия ядерных излучений, фотосинтез в микроводорослях обеспечивают радиолюминесцентным оптическим излучением, возбуждаемым в люминофоре проникающими ядерными излучениями, и теплом, выделяемым при рассеянии энергии ядерных излучений в среде источника ядерных излучений.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что спектр радиолюминесцентного излучения выбирают резонансно совпадающим со спектром действия фотосинтеза.

3. Установка для культивирования микроводорослей, включающая искусственный источник энергии, преобразователь энергии искусственного источника в люминесцентное оптическое излучение, преобразователь энергии искусственного источника в тепло и светоприемную кювету для выращивания микроводорослей, отличающаяся тем, что источником энергии служит источник ядерных излучений, преобразователем энергии ядерных излучений источника в люминесцентное оптическое излучение выбран радиолюминофор, преобразующий энергию проникающих излучений источника в люминесцентное оптическое излучение, а преобразователем энергии искусственного источника в тепло выбран сам источник ядерного излучения.

4. Установка по п.3, отличающаяся тем,

что источником ядерных излучений служит ядерный реактор.

5. Установка по п.4, отличающаяся тем, что в качестве ядерного реактора выбран реактор-размножитель с уран-ториевым топливным циклом.

6. Установка по п.3 или 4, или 5, отличающаяся тем, что светоприемные поверхности кюветы расположены по периферии радиolumинофора, окружая его со всех сторон.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

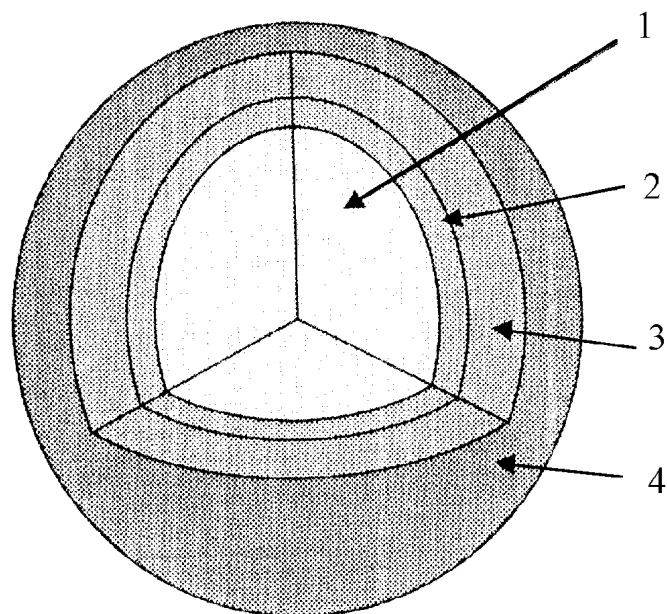
50

55

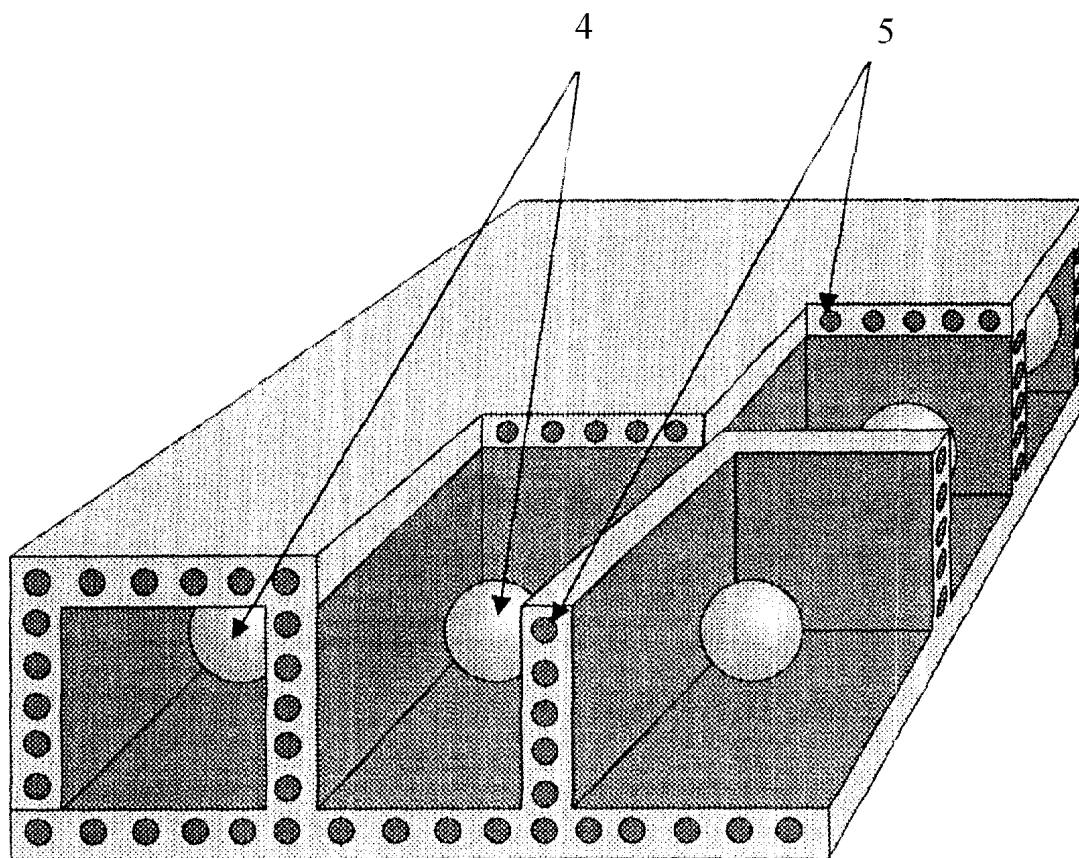
60

RU 2175013 C2

RU 2175013 C2



Фиг.2



Фиг.3