



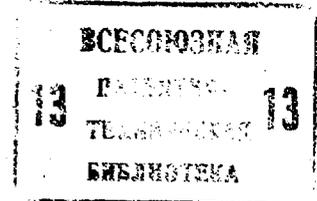
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1195823** **A1**

(5D 4 G 21 C 1/08

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3678182/24-25
(22) 23.12.83
(46) 30.03.87. Бюл. № 12
(72) П.А.Лепшик, Л.Л.Кобзарь,
Ю.Г.Никипорец и В.И.Плютинский
(53) 621.039.5(088.8)
(56) Морозов И.И., Герлига В.А.
Устойчивость кипящих реакторов. М.:
Атомиздат, 1963, с. 68.

Егоров В.В. и др. Вопросы обеспе-
чения безопасности атомных станций
теплоснабжения. - Атомная энергия,
т. 48, вып. 4, апрель 1980, с. 228.

Митенков Ф.М., Моторов Б.И. Меха-
низмы неустойчивых процессов в теп-
ловой и ядерной энергетике. М.: Энер-
гоиздат, 1981, с. 52.

(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
КИПАЩЕГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С ЕСТЕСТ-
ВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И
КИПАЩИЙ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР С ЕСТЕСТВЕН-
НОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ (ЕГО
ВАРИАНТЫ)

(57) 1. Способ повышения устойчивос-
ти кипящего ядерного реактора с ес-
тественной циркуляцией теплоносителя
путем изменения состава и параметров
среды, заполняющей внутрикорпусное
пространство реактора со встроенным
компенсатором давления, о т л и -
ч а ю щ и я тем, что, с целью
повышения безопасности реакторной ус-
тановки и увеличения энергонапряжен-
ности реактора путем повышения устой-
чивости расхода теплоносителя в кон-
туре циркуляции и нейтронного потока
в активной зоне, уменьшают сжимае-
мость среды в компенсаторе давления
и поддерживают ее на уровне более
низком, чем сжимаемость системы вода-

пар на линии насыщения в рабочих ус-
ловиях реактора.

2. Способ по п.1, о т л и ч а ю -
щ и я тем, что, с целью повыше-
ния безопасности путем уменьшения
сжимаемости среды в компенсаторе дав-
ления, по крайней мере часть пара
конденсируют над уровнем воды в ре-
акторе.

3. Способ по п.2, о т л и ч а ю -
щ и я тем, что часть потока па-
ра направляют в участок контура цир-
куляции, в котором температура тепло-
носителя ниже температуры насыщения,
а часть потока воды из участка кон-
тура циркуляции, в котором температу-
ра воды ниже температуры насыщения,
направляют в участки внутрикорпусно-
го объема реактора, заполненные паро-
водяной смесью.

4. Кипящий ядерный реактор с ес-
тественной циркуляцией теплоносителя,
содержащий корпус с размещенными в
нем активной зоной, тяговым участком,
теплообменниками и компенсатором дав-
ления, выполненным в виде пространст-
ва в верхней части реактора над плос-
костью кромки перелива, проходящей
через верхний край сплошной обечайки
тягового участка, о т л и ч а ю -
щ и я тем, что, с целью повыше-
ния безопасности реакторной установ-
ки и увеличения энергонапряженности
реактора путем уменьшения эффектив-
ной сжимаемости среды в компенсаторе
давления в динамических процессах,
часть компенсатора давления отделена
перегородкой, нижняя поверхность ко-
торой либо ее часть заглублена под
уровень теплоносителя в реакторе,

(19) **SU** (11) **1195823** **A1**

причем в перегородке выполнены калиброванные отверстия, обладающие ограниченной пропускной способностью.

5. Кипящий ядерный реактор с естественной циркуляцией теплоносителя, содержащий корпус с размещенными в нем активной зоной, тяговым участком и теплообменниками, компенсатором давления, выполненным в виде пространства в верхней части реактора над плоскостью кромки перелива, проходящей через верхний край сплошной обечайки тягового участка, отличающийся тем, что, с целью повышения безопасности реакторной установки и увеличения энергонапряженности реактора путем уменьшения сжимаемости среды в компенсаторе давления, над подъемным участком контура циркуляции установлена перегородка в форме открытого сверху сосуда, верхний край которого расположен над уровнем теплоносителя в реакторе, а нижняя поверхность заглублена под уровень теплоносителя и снабжена калиброванными отверстиями.

6. Кипящий ядерный реактор с естественной циркуляцией теплоносителя, содержащий корпус с размещенными в нем активной зоной, тяговым участком и теплообменниками, компенсатором давления, выполненным в виде пространства в верхней части реактора над плоскостью кромки перели-

ва, проходящей через верхний край сплошной обечайки тягового участка, отличающийся тем, что, с целью повышения безопасности реакторной установки и увеличения энергонапряженности реактора путем уменьшения эффективной сжимаемости среды в компенсаторе давления вследствие появления дополнительной обратной связи по уровню воды, компенсатор давления либо его часть отделен перегородкой, на которой установлен гидрозатвор.

7. Реактор по п.4, отличающийся тем, что калиброванные отверстия в перегородке расположены под уровнем теплоносителя в реакторе, причем пространство, отделенное перегородкой, соединено с паровым объемом контура циркуляции с помощью трубопровода, на котором размещен вентиль.

8. Реактор по п.4, отличающийся тем, что калиброванные отверстия в перегородке расположены под уровнем теплоносителя в реакторе, а часть пространства, отделенного перегородкой, заполнена газом из внешней системы.

9. Реактор по п.4, отличающийся тем, что часть перегородки, выступающая над уровнем теплоносителя, выполнена прилегающей к теплообменникам.

1

Изобретение относится к области ядерной энергетики и может быть использовано при создании корпусных реакторов с кипящей водой и естественной циркуляцией теплоносителя.

Целью изобретения является повышение безопасности реакторной установки и увеличение энергонапряженности реактора путем повышения устойчивости расхода теплоносителя в контуре циркуляции и нейтронного потока в активной зоне, а также путем уменьшения эффективности сжимаемости среды в компенсаторе давления в динамических процессах.

2

На фиг.1-5 схематически изображены общие виды вариантов реактора; на фиг.6 и 7 показан гидравлический затвор; на фиг.8 показан дефлектор под калиброванным отверстием.

На фиг.1 представлен реактор, содержащий корпус 1, активную зону 2, тяговый участок, ограниченный обечайкой 3, встроенный теплообменник 4, крышку 5 корпуса с установленными на ней исполнительными механизмами системы управления и защиты (СУЗ) 6, которые соединены с помощью штанг 7 с органами 8 регулирования, механически перемещаемыми в активной зоне,

причем в механизмы СУЗ через штуцеры 9 подведена вода из системы очистки первого контура, температура которой ниже, чем температура насыщения воды в реакторе. Эта вода по трубам 10 направляется в тяговый участок реактора. Часть компенсатора давления отделена перегородкой 11, нижняя поверхность которой заглублена под уровень теплоносителя в реакторе, причем в перегородке имеются калиброванные отверстия: для прохода пара - отверстия 12, расположенные выше уровня теплоносителя, и для прохода воды - отверстия 13, расположенные ниже его уровня. Повышение устойчивости достигается за счет уменьшения эффективной сжимаемости среды в пространстве над плоскостью кромки 14 перелива, исключением из этого пространства объема 15, ограниченного перегородкой (при колебаниях параметров реактора с частотами 0,05-1,0 Гц и выше), а также уменьшением объема насыщенной воды над плоскостью кромки перелива. Эффективная сжимаемость среды в компенсаторе давления падает тем сильнее, чем меньше проходное сечение отверстий определяется из условия обеспечения компенсации давления в реакторе при медленных изменениях параметров реактора, характерных для переходных режимов при нормальной эксплуатации и при некоторых аварийных режимах.

Нижняя поверхность перегородки 11 выполняет роль дефлектора, направляющего двухфазный поток теплоносителя выше плоскости кромки 14 перелива в трубчатку теплообменника 4 и затрудняющего выход пара в отделенное перегородкой пространство в процессе подъемного движения теплоносителя над тяговым участком.

На внутренней поверхности крышки 5 корпуса реактора и на трубах 10 приводов системы управления и защиты установлена теплоизоляция 16, назначение которой поясняется ниже.

На фиг.2 схематически показан общий вид верхней части реактора с заполнением пространства, отделяемого перегородкой 11, водой. Калиброванное отверстие 13 в перегородке обеспечивает проход воды из контура циркуляции после закрытия вентиля 17 и клапана 18. В случае аварийной ситуации с резким повышением давления в реакторе, а также с падением уровня

теплоносителя срабатывает предохранительный клапан 18, при этом вода из пространства, отделенного перегородкой, переливается через отверстия 13 в перегородке, снижая давление и повышая уровень воды в реакторе, что повышает безопасность реакторной установки.

На фиг.3 показан общий вид верхней части реактора с заполнением части пространства, отделенного перегородкой 11, газом, подаваемым в реактор через штуцер 19 от внешней системы. В качестве газа для заполнения могут быть использованы как инертные газы, так и газы, корректирующие водно-газовый режим первого контура: водород, аммиак и др. Калиброванные отверстия 13 в перегородке 11 обеспечивают проход запирающей воды СУЗ, а также выравнивание давлений по обеим сторонам перегородки при медленных изменениях параметров реактора.

Повышение устойчивости реактора происходит за счет уменьшения эффективной сжимаемости среды в пространстве над плоскостью кромки перелива как следствие отделения части компенсатора давления перегородкой с калиброванными отверстиями ограниченной пропускной способности, так и вследствие заполнения отделенной части компенсатора давления газом и охлаждаемой ниже температуры насыщения водой.

На фиг.4 показан общий вид верхней части реактора с перегородкой 11 в форме сосуда, дно которого заглублено под уровень теплоносителя. Объем внутри перегородки 11 заполнен водой, охлаждаемой за счет подачи воды, поступающей из приводов системы управления и защиты под уровень через трубы 10 либо при помощи теплообменника 20. Объем, отделенный перегородкой, сообщается с контуром циркуляции посредством калиброванных отверстий 13. Эффект повышения устойчивости достигается за счет уменьшения количества воды, находящейся при температуре насыщения в пространстве над кромкой перелива.

На фиг.5 показан общий вид реактора с перегородкой 11, отделяющей компенсатор давления от контура циркуляции и теплообменников по всему поперечному сечению реактора, в целях чего перегородка продолжена по периферии

теплообменников и в своей внешней части 21 соединена с корпусом реактора (выступающая над уровнем теплоносителя часть перегородки прилегает к теплообменнику). На перегородке имеются калиброванные отверстия 12 и 13.

На фиг.6 и 7 показана верхняя часть реактора с гидравлическим затвором, который разделяет паровой (парогазовый) объем внутри перегородки 11 с паровым объемом контура циркуляции. Гидравлический затвор может быть выполнен в виде изогнутой трубы 22, торцы которой размещены над уровнем теплоносителя по разные стороны от перегородки 11, либо в виде конструкции, включающей цилиндрическую обечайку 23, нижний обрез которой заглублен под уровень теплоносителя в кольцевом пространстве, ограниченном цилиндрическими обечайками 24 и 25, соединенными между собой в нижней части. Для заполнения гидрозатвора водой (в варианте) в боковой поверхности трубы 22 ниже уровня теплоносителя выполнено калиброванное отверстие, сечение которого недостаточно для влияния на процессы выравнивания давлений по обеим сторонам перегородки 11. Применение гидрозатвора способствует повышению безопасности установки и дополнительному повышению устойчивости.

В переходных режимах с изменением давления в контуре циркуляции гидрозатвор способствует защите корпуса реактора от переопрессовки и предохраняет перегородку от чрезмерной силовой нагрузки, так как с появлением определенного перепада давлений между контуром циркуляции и пространством, отделенным перегородкой, происходит "прорыв" гидрозатвора (вытеснение из него воды) с последующим выравниванием давлений по обеим сторонам перегородки за счет интенсивного перетока пара через гидрозатвор.

Дополнительное повышение устойчивости реактора при использовании гидрозатвора связано с увеличением коэффициента усиления малоинерционной отрицательной обратной связи движущий напор-давление - движущий напор вследствие того, что при изменениях объема пара в контуре циркуляции (движущего напора) происходят изменения разности уровней воды в гидро-

затворе, сопровождающиеся соответствующими изменениями давления в контуре циркуляции. По влиянию на процессы в контуре циркуляции применение гидрозатвора эквивалентно уменьшению сжимаемости среды в компенсаторе давления.

На фиг.8 показана схема выполнения калиброванного отверстия в перегородке 11 в ее части под уровнем теплоносителя.

В целях снижения количества пара, попадающего через перегородку в отделяемый объем компенсатора давления в процессе подъемного движения пузырей пара, нижний торец отверстия закрыт дефлектором 26, обеспечивающим боковой проход теплоносителя. Нижняя поверхность перегородки 11 выполнена с уклоном, чтобы предотвратить накопление под ней пара.

Применение дефлекторов, препятствующих проникновению пара из контура циркуляции в отделенную перегородкой часть компенсатора давления, способствует охлаждению большей массы воды в пространстве, отделенном перегородкой, а следовательно, и уменьшению сжимаемости среды в компенсаторе давления.

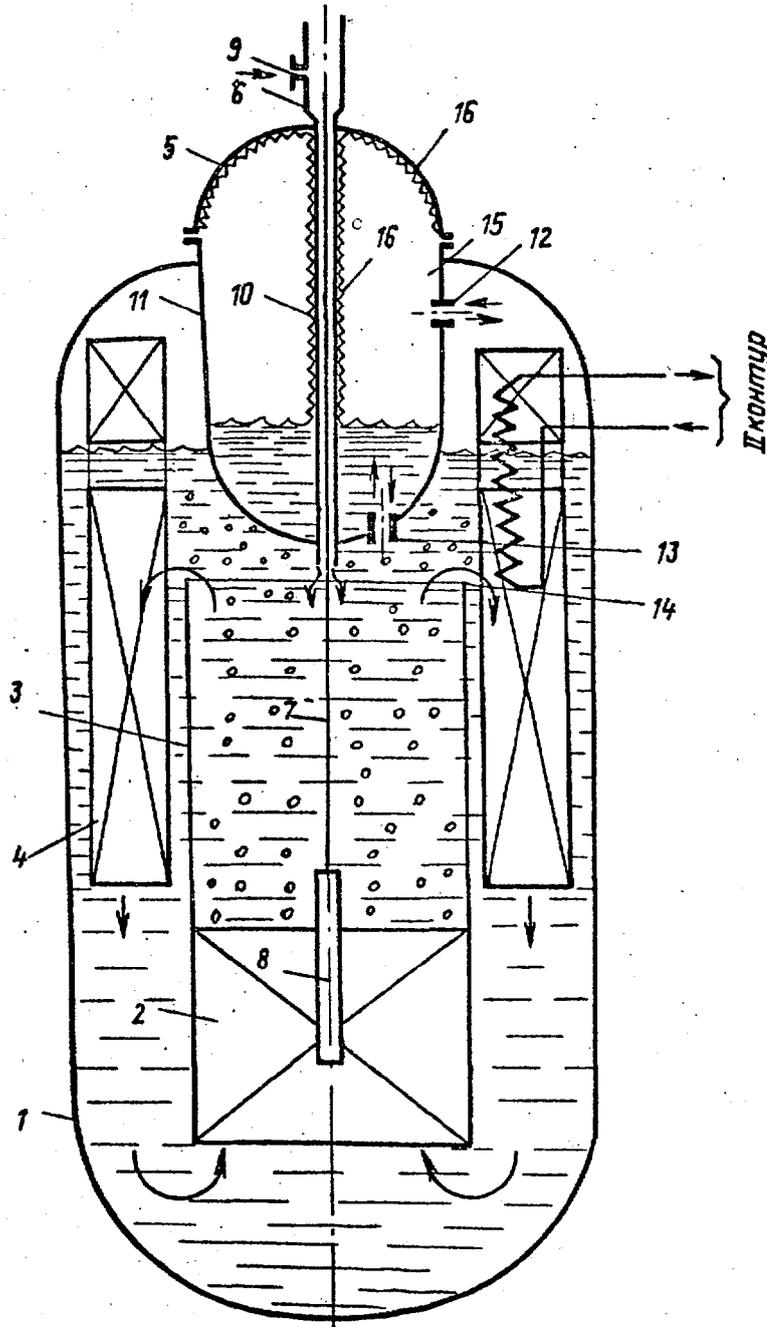
В реакторе на перегородке 11 может быть установлена теплоизоляция 16, а запирающая вода СУЗ подается в пространство, отделенное перегородкой. Это позволяет получить дополнительный стабилизирующий эффект за счет уменьшения сжимаемости вещества в компенсаторе давления вследствие охлаждения воды в отделенном перегородкой пространстве до температуры ниже температуры насыщения.

Эффект повышения устойчивости при уменьшении сжимаемости среды над кромкой перелива контура циркуляции достигается за счет того, что уменьшение сжимаемости среды в пространстве над кромкой перелива приводит к росту саморегулирования движущего напора в контуре естественной циркуляции благодаря усилению малоинерционной отрицательной динамической связи движущий напор - давление - движущий напор, наличие которой объясняется тем, что при изменении паросодержания в активной зоне и тяговом участке определяющего движущий напор, происходит изменение давления в реакторе, препятствующее указанно-

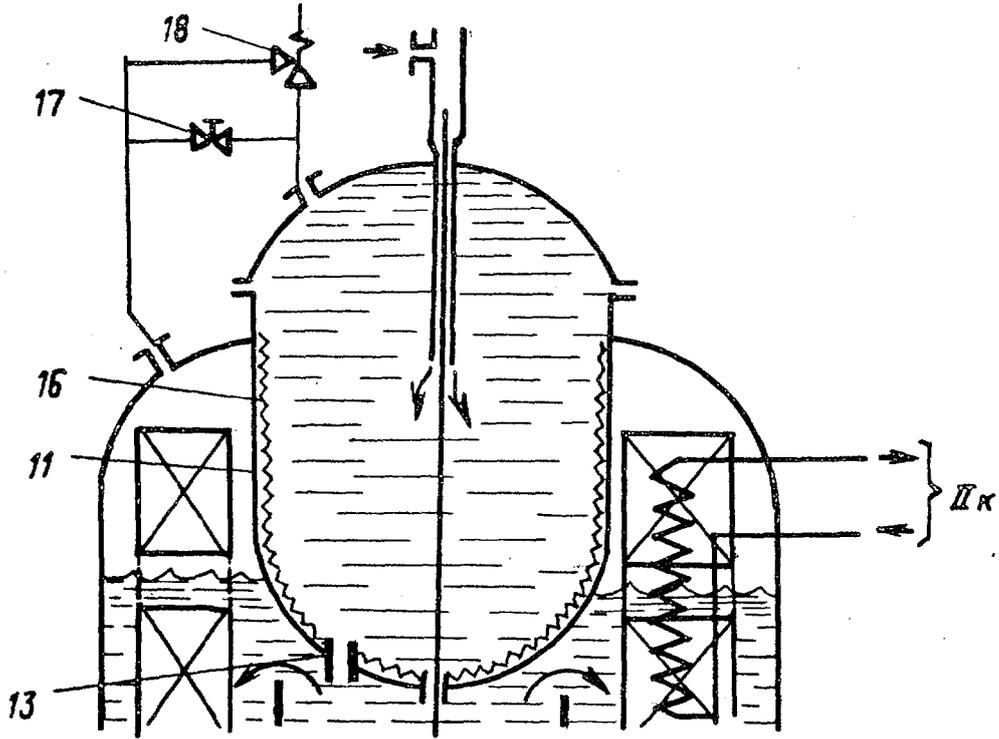
му изменению паросодержания. Этот эффект усиливается, если на частотах, характерных для колебаний расхода, не происходит перераспределения вещества между контуром циркуляции и компенсатором давления, функции которого выполняет пространство над плоскостью кромки перелива, или если сжимаемость вещества в компенсаторе давления уменьшается.

В силу взаимообусловленности процессов гидродинамики контура цирку-

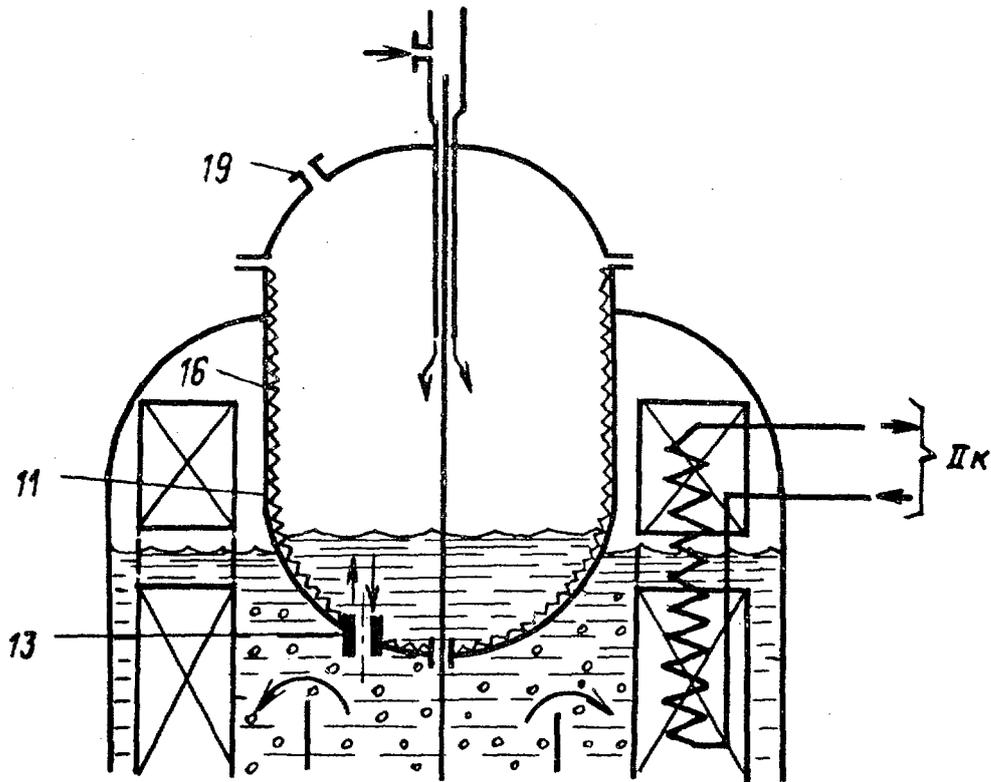
ляции и нейтронной физики активной зоны в корпусном кипящем реакторе повышение устойчивости естественной циркуляции, как правило, стабилизирует процессы в активной зоне. Таким образом, способ повышения устойчивости по настоящему изобретению повышает устойчивость реактора в целом как по отношению к появлению колебаний параметров контура циркуляции, так и к появлению колебаний нейтронного потока.



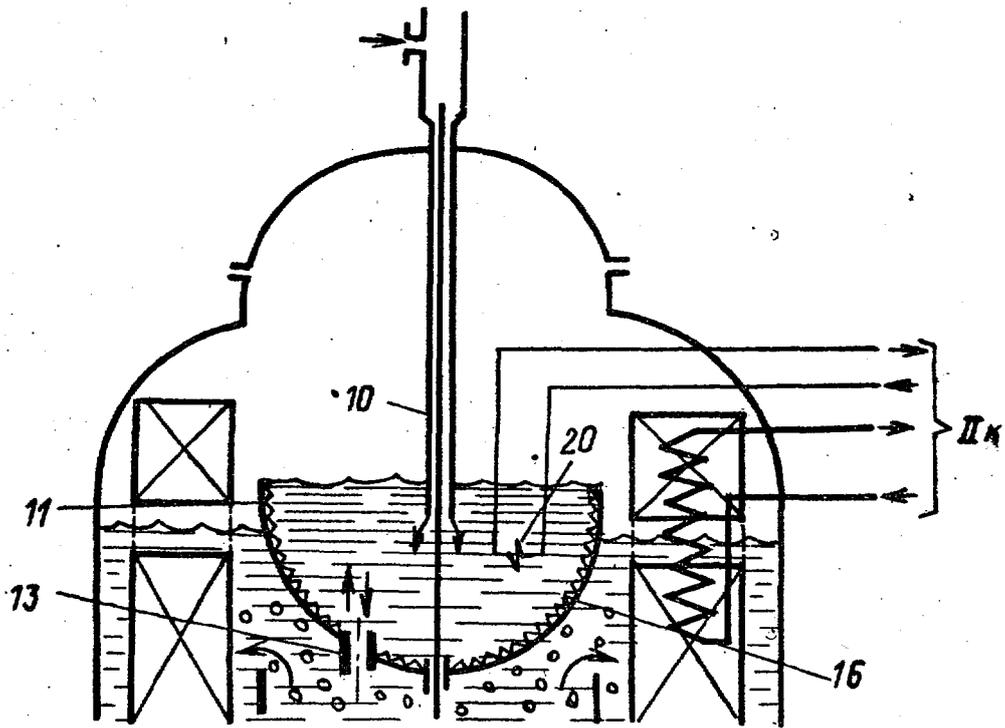
Фиг. 1



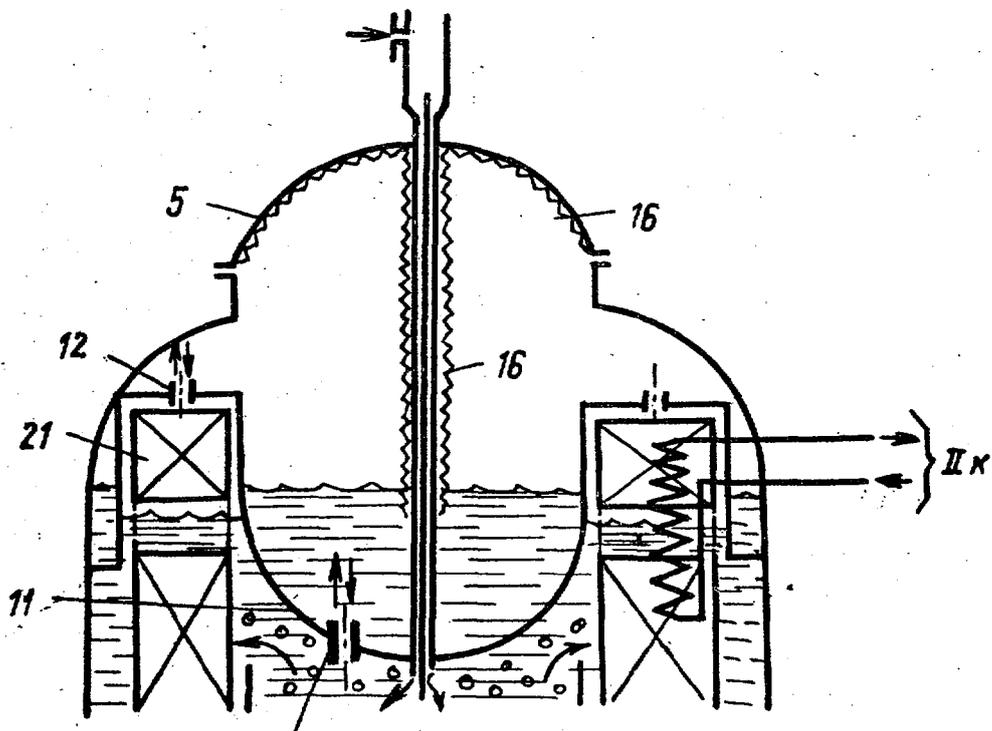
Фиг. 2



Фиг. 3

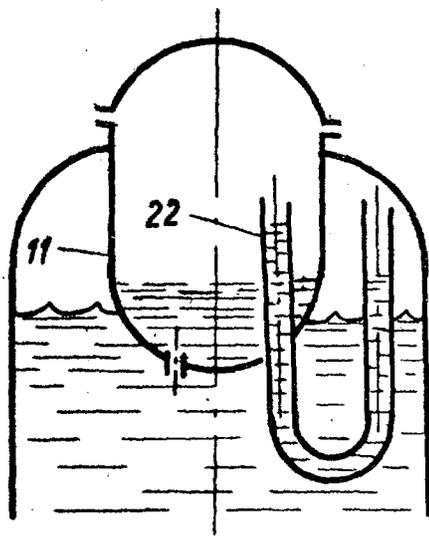


φиг. 4

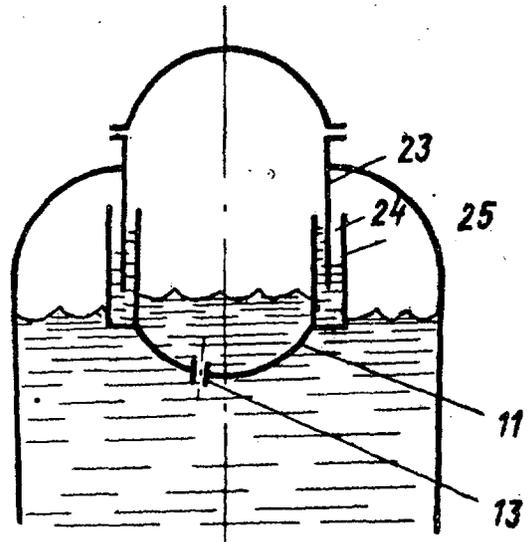


13

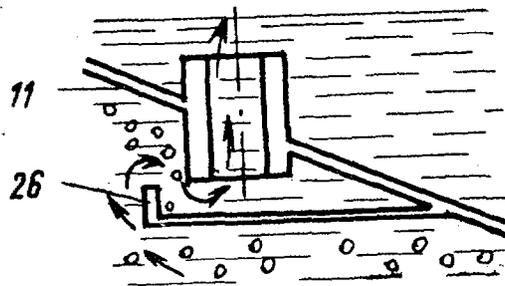
φиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

Редактор П. Горькова

Техред Л. Сердюкова

Корректор А. Ильин

Заказ 1166/1

Тираж 395

Подписное

ВНИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5*

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4