

Изобретение относится к тепловыделяющим сборкам, в частности, к тепловыделяющей сборке, включающей отклоняющие лопатки для отклонений компонентов жидкостного потока, текущего мимо такой тепловыделяющей сборки и может быть использовано в активных зонах ядерных энергетических реакторов.

Перед обсуждением состояния проблемы целесообразно сначала кратко описать конструкцию и работу типичного энергетического ядерного реактора, содержащего совокупность ядерных тепловыделяющихборок. В этой связи энергетический ядерный реактор является устройством для производства тепла путем управляемого деления материала ядерного топлива, содержащегося в совокупности соседних тепловыделяющих стержней. Тепловыделяющие стержни объединены в пучки посредством совокупности дистанционирующих решеток, каждая из которых имеет открытые ячейки для прохождения через них каждого тепловыделяющего стержня и для достижения заданного расстояния (т. е. шага) между соседними тепловыделяющими стержнями. Кроме того, через другие открытые ячейки каждой решетки также проходят полые направляющие глухие трубки регулирующих стержней. В глухих трубках могут перемещаться посредством скольжения подвижные поглощающие или регулирующие стержни, способные управлять процессом деления.

Первый концевой участок и второй концевой участок каждой глухой трубки прикреплены к верхнему соплу и к нижнему соплу, соответственно, чтобы обеспечить тепловыделяющей сборке жесткую конструктивную опору.

Совокупность тепловыделяющих стержней, направляющих глухих трубок, решеток, верхнего сопла и нижнего сопла обычно называют тепловыделяющей сборкой. Множество этих тепловыделяющихборок группируют для образования активной зоны ядерного реактора, герметично закрытой внутри корпуса высокого давления реактора.

В процессе работы реактора поток жидкого замедлителя-охладителя (например, умягченная вода) течет через корпус высокого давления и над топливными стержнями для содействия процессу деления и отбора тепла, получаемого при делении вещества ядерного топлива, содержащегося в каждом топливном стержне. В случае типового энергетического ядерного реактора, охлаждаемого водой под давлением, скорость потока охладителя, прокачиваемого над тепловыделяющими стержнями с помощью насосов охладителя реактора, может составлять примерно 18 футов в секунду (5,486 м/сек), чтобы обеспечить эффективный отбор тепла, выделяемого в процессе деления. Таким образом, тепло, выделяемое при делении вещества ядерного топлива, передается от каждого тепловыделяющего стержня, и, следовательно, от каждой тепловыделяющей сборки, жидкому замедлителю-охладителю, протекающему мимо топливных стержней. Тепло, передаваемое жидкому замедлителю-охладителю, в конечном счете переносится охладителем от корпуса высокого давления к турбогенератору, производящему электроэнергию известным в производстве электроэнергии способом. Как будет рассмотрено ниже, из соображений безопасности важно, чтобы охладитель эффективно отбирал тепло, выделяемое каждым тепловыделяющим стержнем. С этой целью нагретая поверхность каждого тепловыделяющего стержня должна находиться в контакте с охладителем, имеющим заданную среднюю объемную температуру охладителя.

Известно, что тепловой поток (т. е. скорость теплопередачи на единицу площади), текущий поперек нагретой поверхности топливного стержня, будет изменяться в зависимости от разности температур нагретой поверхности тепловыделяющего стержня и объема охладителя. Для оценки важности этой зависимости между тепловым потоком и разностью температур в процессе нижеследующих рассуждений приводится описание способа, при котором тепловой поток изменяется как функция разности температур нагретой поверхности тепловыделяющего стержня и объема охладителя. Таким образом, так как разность между температурой поверхности тепловыделяющего стержня и температурой объема охладителя может увеличиваться во время запуска реактора, тепло будет передаваться от нагретой поверхности к охладителю путем однофазной конвекции, вследствие чего увеличивается тепловой поток. Так как разность температур между температурой нагретой поверхности и средней температурой объема охладителя в дальнейшем возрастает, температура нагретой поверхности, вероятно, будет со временем превышать температуру насыщения (т. е. температуру насыщенного потока при давлении, существующем в активной зоне реактора), и на нагретой поверхности будут образовываться пузырьки пара, образуя на ней центры пузырькового кипения таким образом, что тепловой поток быстро возрастает. Тепловой поток будет максимальным, когда пузырьки станут достаточно плотными, чтобы соединиться и образовать паровую пленку на нагретой поверхности. Однако паровая пленка будет действовать как теплоизолятор, так как пары замедляют теплопередачу. Этот момент максимума теплового потока, при котором на нагретой поверхности образуется паровая пленка, обычно называют точкой кризиса теплоотдачи (DNB), которого следует избегать из соображений безопасности. Следовательно, если разность температур между температурой поверхности и температурой объема охладителя допускает даже незначительное превышение максимального теплового потока (DNB), тепловой поток будет быстро и значительно уменьшаться даже при увеличении температуры нагретой поверхности. Паровая пленка на топливном стержне в этот момент становится неустойчивой в том смысле, что она попеременно разрывается и затем вновь образуется, так что происходит местное пленочное кипение. Если допустить дальнейшее увеличение разности температур между температурой поверхности и температурой объема охладителя, тепловой поток будет снова возрастать и возникнет устойчивое пленочное кипение паров. Однако, если большие тепловые потоки возникают одновременно с пленочным кипением (т. е. либо местным, либо устойчивым пленочным кипением), температура нагретой поверхности тепловыделяющего стержня может стать достаточно высокой для того, чтобы произошло повреждение топливного стержня (так называемый "пережог"). Этого следует избегать из соображения безопасности. Сле-

довательно, специалистам понятно, что если реактор работает в таком режиме, что происходит пузырьковое кипение вблизи точки DNB, относительно небольшое увеличение теплового потока вызовет относительно быстрый переход к пленочному кипению, что может привести к "пережогу". Следовательно, для достижения максимального допустимого тепловыделения без риска повреждения тепловыделяющих стержней целесообразно эксплуатировать ядерный реактор так, чтобы наибольший тепловой поток был меньше максимума теплового потока, связанного с DNB.

Как упоминалось выше, пленка пузырьков пара может образоваться на нагретой поверхности и вызвать на ней кипение, однако паровая пленка будет действовать как теплоизолятор, так как пары замедляют теплопередачу и могут привести к DNB, что, в свою очередь, может привести к повреждению тепловыделяющего стержня. Тем не менее, желательно поддерживать пленку жидкого, по существу, однофазного охладителя на поверхности тепловыделяющего стержня с целью увеличения теплопередачи от тепловыделяющего стержня к охладителю при одновременном исключении DNB. Поэтому поддержание пленки жидкого однофазного охладителя на поверхности тепловыделяющего стержня для увеличения теплопередачи от тепловыделяющего стержня к охладителю является проблемой в данной области техники.

Увеличение теплопередачи от тепловыделяющего стержня к охладителю при одновременном исключении DNB, увеличивает максимально допустимый тепловой поток, полученный при заданном размере активной зоны реактора. Это желательно в связи с тем, что увеличивая максимальный допустимый тепловой поток, получаемого при заданном размере активной зоны реактора, увеличивают максимальную допустимую мощность, получаемую от активной зоны реактора. В этой связи, теплопередача от тепловыделяющего стержня к охладителю может быть увеличена за счет увеличения скорости потока охладителя над топливными стержнями. Однако увеличение скорости потока охладителя может потребовать больших и более дорогих насосов охладителя реактора, поэтому еще одной проблемой в данной области техники является более эффективное увеличение теплопередачи от тепловыделяющего стержня к охладителю, не требующее больших и более дорогих насосов охладителя реактора.

Поддержание пленки жидкого однофазного охладителя на поверхности тепловыделяющего стержня для увеличения теплопередачи, от тепловыделяющего стержня к охладителю, при исключении DNB, способом, не требующим больших насосов охладителя, в последние годы приобрело дополнительное значение в связи с тем, что некоторые современные конструкции активной зоны реактора требуют, чтобы ранее упомянутые тепловыделяющие стержни были расположены скорее в виде более плотного массива с треугольными ячейками, нежели в виде более традиционного и менее плотного массива с квадратными ячейками. Поэтому в некоторых конструкциях активной зоны реактора тепловыделяющие сборки, содержащие тепловыделяющие стержни, могут иметь гексагональное поперечное сечение для получения приемлемого массива "плотной упаковки" с треугольными ячейками. Тепловыделяющие стержни, размещенные в массиве с треугольными ячейками, обеспечивают более высокую среднюю плотность потока от активной зоны реактора заданного размера по сравнению с тепловыделяющими стержнями, расположенными в более традиционном массиве с квадратными ячейками. Получение более высокой средней плотности потока за счет плотно упакованных тепловыделяющих сборок желательно из экономических соображений, так как такая плотная упаковка тепловыделяющих сборок обеспечивает более доходное производство энергии в пересчете на единицу объема активной зоны реактора, что увеличивает прибыль от капиталовложений в АЭС. Однако более высокий тепловой поток приводит к увеличению риска DNB и поэтому является нежелательным из соображений безопасности, как упоминалось выше. Следовательно, становится очень важным адекватное охлаждение таких тепловыделяющих сборок и плотно упакованных в них топливных стержней с тем, чтобы избежать DNB и в то же время получить более высокий тепловой поток в пересчете на единицу объема активной зоны реактора.

Известны тепловыделяющие сборки, пригодные для использования в активной зоне ядерных реакторов. Одна из таких тепловыделяющих сборок описана в [1] под названием "Тепловыделяющая сборка ядерного реактора и активная зона ядерного реактора, содержащая такие тепловыделяющие сборки", выданном 22.01.74 на имя Йоргена Марстренда. В этом патенте раскрыта тепловыделяющая сборка, имеющая направляющие лопатки, оси которых параллельны тепловыделяющим стержням, придающие вихревое движение охладителю, текущему вдоль лопаток, чтобы обеспечить более высокую плотность потока энергии. Тепловыделяющие стержни расположены в виде массива гексагональной формы так, что наружный контур тепловыделяющей сборки является гексагональным. Совокупность лопаток, расположенных вокруг центральной оси и наклоненных относительно нее, вынуждает жидкость течь над тепловыделяющими элементами, в основном, по спиральной траектории вокруг центральной оси. Хотя в патенте Марстренда раскрыта тепловыделяющая сборка, имеющая гексагональный наружный контур и множество направляющих лопаток, в указанном патенте не раскрыта тепловыделяющая сборка, включающая в себя отклоняющие лопатки для отклонения компонента потока жидкости, протекающего мимо такой тепловыделяющей сборки, как описано и заявлено ниже в формуле изобретения. Кроме указанного патента аналогичные решения представлены в патентах [2].

В качестве прототипа принято решение в соответствии с патентом [4].

Тепловая сборка в соответствии с этим решением содержит элемент решетки, включающий наружную полосу, имеющую шестиугольный поперечный контур, расположенный поперек потока жидкости, совокупность первых внутренних полос, расположенных поперек потока жидкости, причем каждая первая внутренняя полоса прикреплена к наружной полосе внутри нее, совокупность вторых внутренних полос, расположенных поперек потока жидкости, причем каждая вторая внутренняя полоса прикреплена к наружной полосе внутри нее, и каждая вторая внутренняя полоса пересекает каждую первую внутреннюю полосу под углом к первой внутренней полосе и образование совокупности ромбовидных ячеек для стержней и сово-

купности ромбовидных глухих ячеек в элементе решетки, совокупность удлиненных тепловыделяющих стержней, расположенных в виде массива параллельных элементов в потоке жидкости и проходящих через соответствующие им ячейки для стержней, причем каждый тепловыделяющий стержень имеет продольную ось, параллельную оси потока жидкости, совокупность удлиненных глухих трубок, расположенных в виде массива параллельных элементов в потоке жидкости и проходящих через соответствующие им глухие ячейки, причем каждая глухая трубка имеет продольную ось, параллельную оси потока жидкости.

Хотя в вышеупомянутых патентах раскрыта тепловыделяющая сборка, пригодная для использования в активной зоне ядерного реактора, в них не раскрыта тепловыделяющая сборка, включающая в себя отклоняющие лопатки для отклонения компонента потока жидкости, протекающего мимо такой тепловыделяющей сборки.

В основу изобретения поставлена задача в тепловой сборке активной зоны ядерного реактора путем создания оптимального отклонения охлаждающего потока жидкости, протекающего мимо тепловыделяющей сборки, обеспечить эффективный отбор тепла, выделяемого в процессе работы ядерного реактора.

Поставленная задача решается в тепловыделяющей сборке активной зоны ядерного реактора, выполненной с возможностью отклонения компонента потока жидкости, протекающего мимо тепловыделяющей сборки и имеющего ось потока, содержащей элемент решетки, включающий наружную полосу, имеющую шестиугольный поперечный контур, расположенный поперек потока жидкости, совокупность первых внутренних полос, расположенных поперек потока жидкости, причем каждая первая внутренняя полоса прикреплена к наружной полосе внутри нее, совокупность вторых внутренних полос, расположенных поперек потока жидкости, причем каждая вторая внутренняя полоса прикреплена к наружной полосе внутри нее, и каждая вторая внутренняя полоса пересекает каждую первую внутреннюю полосу под углом к первой внутренней полосе и образование совокупности ромбовидных ячеек для стержней и совокупности ромбовидных глухих ячеек в элементе решетки, совокупность удлиненных тепловыделяющих стержней, расположенных в виде массива параллельных элементов в потоке жидкости и проходящих через соответствующие им ячейки для стержней, причем каждый тепловыделяющий стержень имеет продольную ось, параллельную оси потока жидкости, совокупность удлиненных глухих трубок, расположенных в виде массива параллельных элементов в потоке жидкости и проходящих через соответствующие им глухие ячейки, причем каждая глухая трубка имеет продольную ось, параллельную оси потока жидкости, тем, что совокупность отклоняющих лопаток связана с каждой ячейкой для стержня, причем каждая отклоняющая лопатка скреплена за одно целое с элементом решетки и имеет криволинейный профиль, частично выступающий над связанной с ней ячейкой для стержня под наклоном к оси потока жидкости.

При этом каждая из множества отклоняющих лопаток частично выступает по спиральной криволинейной траектории над связанной с ней ячейкой для стержня.

При этом совокупность отклоняющих лопаток представляет собой пару противоположно ориентированных лопаток, смещенных относительно друг друга.

В соответствии с настоящим изобретением тепловыделяющая сборка содержит элемент решетки, имеющий ячейки ромбовидной формы для стержней и, в основном, ромбовидной формы глухие ячейки в ней. Совокупность параллельных топливных стержней проходит через соответствующие ячейки для стержней, а совокупность параллельных направляющих глухих трубок регулирующих стержней проходит через соответствующие глухие ячейки. Множество отклоняющих лопастей связаны с каждой ячейкой для стержней и закреплены на верхних кромках каждой ячейки для стержней, образуя с ними единое целое. Каждая отклоняющая лопатка над связанной с ней ячейкой для стержня так, что криволинейный контур лопатки частично выступает над ячейкой для стержня с целью отклонения компонента потока жидкости к наружной поверхности тепловыделяющего стержня, проходящего сквозь ячейку для стержня. Отклоняющая лопатка и ромбовидная форма каждой ячейки для стержня совместно создают вихрь вокруг продольной оси тепловыделяющего стержня для поддержания, в основном, однофазного, движущегося вдоль наружной поверхности тепловыделяющего стержня потока жидкости с тем, чтобы можно было избежать DNB даже при наличии сильных тепловых потоков по всей наружной поверхности тепловыделяющего стержня.

Сущность тепловыделяющей сборки в соответствии с настоящим изобретением будет более понятна из следующего описания, приводимого со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

Фиг. 1 - частичный вертикальный разрез корпуса высокого давления типового энергетического ядерного реактора, при этом некоторые детали удалены для ясности, а корпус высокого давления реактора имеет тепловыделяющие сборки в соответствии с настоящим изобретением, расположенные внутри корпуса, причем каждая из тепловыделяющих сборок включает в себя совокупность тепловыделяющих стержней, и тепловыделяющих стержней и направляющих глухих трубок регулирующих стержней;

Фиг. 2 - вертикальная проекция одной из тепловыделяющих сборок, показанная с частичными разрезами;

Фиг. 3 - местная вертикальная проекция, показывающая элемент решетки для поддержания тепловыделяющих стержней и глухих трубок;

Фиг. 4 - вид сверху на элемент решетки вдоль линии разреза 4-4 на фиг. 2;

Фиг. 5 - вид в перспективе первой внутренней полосы и второй внутренней полосы, принадлежащих элементу решетки и имеющих конфигурацию, позволяющую взаимную блокировку, и отклоняющие лопатки, скрепленные с полосами в одно целое;

Фиг. 6 - местный вид в перспективе элемента решетки с одной глухой трубкой и одним тепловыделяющим стержнем, проходящими через нее (глухая трубка и тепловыделяющий стержень показаны штрихпунктирными линиями);

Фиг. 7 - местный вид сверху внутренней полости элемента решетки вдоль линии разреза 7-7 на фиг. 3.

Фиг. 8 - вертикальная проекция одной из отклоняющих лопаток, показывающая направление потока жидкости при отклонении его отклоняющей лопаткой;

Фиг. 9 - вертикальный вид сбоку отклоняющей лопатки вдоль линии разреза 9-9 на фиг. 8;

Фиг. 10 - вид сверху одной из ячеек для стержней, показывающий направление вихревого потока жидкости вокруг тепловыделяющего стержня, проходящего через ячейку для стержня.

В типовом ядерном реакторе тепло, выделяемое при делении ядерного вещества, содержащегося в топливных стержнях, передается от тепловыделяющих стержней жидкому замедлителю-охладителю, протекающему мимо тепловыделяющих стержней. Из соображений безопасности важно, чтобы охладитель эффективно отбирал тепло, выделяемое каждым тепловыделяющим стержнем с тем, чтобы избежать DNB. В соответствии с настоящим изобретением, такой эффективный отвод тепла от поверхности тепловыделяющего стержня обеспечивается отклоняющими лопатками, принадлежащими тепловыделяющей сборке, содержащей тепловыделяющие стержни.

Тем не менее, перед описанием объекта изобретения, целесообразно сначала кратко описать конструкцию и работу типового энергетического ядерного реактора.

Поэтому перейдем к рассмотрению фиг. 1, где изображен типовой энергетический ядерный реактор, обозначенный позицией 1, предназначенный для производства тепла путем управляемого деления вещества ядерного топлива 2 (см. фиг. 2). Как показано на фиг. 1, реактор 1 включает в себя корпус 3 высокого давления реактора, имеющий открытый верхний конец и совокупность входных сопел 4 и выходных сопел 5, закрепленных на нем (показано только одно сопло). Крышка 6 плотно пригнана сверху корпуса 3, что позволяет ей герметично закупоривать или закрывать открытый конец корпуса 3. Закупоривание позволяет в процессе эксплуатации реактора 1 обеспечить подходящее давление охладителя внутри корпуса 3.

Согласно фиг. 1, внутри корпуса 3 расположена активная зона ядерного реактора, обозначенная как единое целое поз. 7 и содержащая ядерное топливо 2. Через крышку 6 введена совокупность приводных валов 8 регулирующих стержней. Каждый приводной вал 8 соединен с совокупностью регулирующих стержней 9 (см. фиг. 2) с целью управления процессом деления в активной зоне 7 реактора способом, известным в производстве ядерной энергии. Как показано на фиг. 1, внутри корпуса 3 высокого давления реактора находятся горизонтальная верхняя плита 10 активной зоны и горизонтальная нижняя плита 11 активной зоны, удаленная от верхней плиты. Нижняя плита 11 активной зоны и верхняя плита 10 активной зоны имеют многочисленные отверстия 12 для подачи охладителя, расположенные поперек потока охладителя, отбирающего тепло, выделяемое при делении ядерного топлива 2.

В процессе работы активной зоны реактора 1 регулирующие стержни 9, по крайней мере, частично выдвинуты из активной зоны 7 реактора с помощью приводных валов 8 для поддержания цепной реакции деления. Так как тепло выделяется в активной зоне 7 реактора, текущий поток жидкого замедлителя-охладителя (например, умягченной воды) вынуждают поступать во входное сопло 4 и циркулировать, в основном, в восходящем потоке через активную зону 7 реактора в направлении, показанном на фиг. 1 вертикальными стрелками. Жидкий замедлитель-охладитель содействует процессу деления "замедлением" нейтронов в активной зоне 7 реактора, а также отводит тепло, выделяемое в процессе деления. Жидкий замедлитель-охладитель выходит из ядерного реактора 1 через выходные сопла 5, после чего поступает по трубопроводам в теплообменное устройство (не показано) для генерации пара. Затем пар по трубам поступает из теплообменного устройства в турбогенератор (не показан) для производства электроэнергии способом, известным в области производства электроэнергии.

Фиг. 2 более подробно отображает сущность предмета настоящего изобретения, согласно которому тепловыделяющая сборка включает отклоняющие лопатки для отклонения компонента потока жидкости, протекающего мимо этой тепловыделяющей сборки, как более подробно описано и заявлено ниже.

Тепловыделяющая сборка, обозначенная как единое целое поз. 13, содержит совокупность удлиненных, в основном, цилиндрических тепловыделяющих стержней 14, расположенных вертикально и образующих массив элементов. В свою очередь каждый тепловыделяющий стержень содержит удлиненный полый и, в основном, цилиндрический металлический кожух или оболочку 15 для герметизации совокупности, в основном, цилиндрических топливных таблеток 2, способных генерировать тепло путем ядерного деления. Оболочка 15 имеет внутренний диаметр 16 и наружный диаметр 17 и может быть выполнена из любого подходящего металла, имеющего относительно небольшое микроскопическое поперечное сечение поглощения нейтронов, например, "ZIRCALOY-4". В этой связи "ZIRCALOY-4" может содержать, по массе, примерно 1,5 % олова, 0,12 % железа, 0,09 % хрома, 0,05 % никеля и 98,24 % циркония. Каждая топливная таблетка 2 выполнена из вещества ядерного топлива, содержащего делящиеся ядра, такого, как ядра U-235 (т. е. уран-235), равномерно распределенного в матрице воспроизводящих ядер, таких, как ядра U-238 (т. е. урана-238), для генерации тепла в процессе ядерного деления. Тепловыделяющая сборка 13, кроме того, содержит первое сопло или первую связывающую плиту 18, имеющую верхний участок 19 и нижний участок 20, при этом первая связывающая плита может иметь шестиугольное поперечное сечение. По причинам, указанным ниже, в первой связывающей плите 18 сделано множество поперечных отверстий (показано только одно). К верхнему участку 19 первой связывающей плиты 18 присоединена, например посредством прижимных крепежных средств или винтов 21, прижимная пружина 22. Прижимная пружина 22 выступает наружу из верхнего участка 19 первой связывающей плиты 18, упираясь в верхнюю плиту 10 активной зоны так, что первая связывающая плита и, следовательно, тепловыделяющая сборка смещаются вниз к нижней плите 11 активной зоны, так как тепловыделяющая сборка расположена по вертикали между верхней плитой 10 активной зоны и нижней плитой 11 активной зоны. Смещение тепловыделяющей сборки

13 вниз предотвращает отход тепловыделяющей сборки 13 от нижней плиты 11 активной зоны, который в противном случае может произойти под влиянием направленного вверх гидравлического усилия, прикладываемого со стороны потока жидкого охладителя, поскольку поток жидкости протекает через активную зону реактора, в основном, вверх вдоль однонаправленной оси потока. Второе сопло или вторая связывающая плита 23 расположена первой связывающей плите 18, удалена от нее и пространственно удалена от первой связывающей плиты 18, и может иметь в поперечном сечении правильный шестиугольник. Вторая связывающая плита 23 включает в себя совокупность выступающих наружу ножек 24, выполненных в виде единого целого для установки с топливным комплектом тепловыделяющей сборки 13 в заданном положении на нижней плите 11 активной зоны. По причинам, указанным ниже, во второй связывающей плите 23 сделано множество отверстий 25 (показано только одно).

Согласно фиг. 2, с верхним участком 19 первой связывающей плиты 18 соединен приводной вал 8, который по причинам, указанным ниже, имеет выступающие наружу в радиальном направлении плечи 26. К каждому плечу 26 прикреплен и установлен с возможностью скольжения через отверстие 27 удлиненный поглощающий нейтроны стержень или регулирующий стержень 28 для управления процессом деления в тепловыделяющей сборке 13. Совокупность регулирующих стержней 28, выступающих наружу из нижнего участка 20 первой связывающей плиты 18, образует массив параллельных элементов. Каждый регулирующий стержень 28 выполнен из соответствующего материала, например, из B_4C (т. е. из карбида бора), имеющего относительно большое микроскопическое поперечное сечение поглощения нейтронов. Кроме того, каждый регулирующий стержень 28 откалиброван, чтобы он мог скользить в удлиненной, в основном, цилиндрической и полой направляющей глухой трубке 29 регулирующего стержня, выступающей наружу из нижнего участка 20 первой связывающей плиты 18, причем каждая глухая трубка 29 имеет первый конец 30 и второй конец 31. Каждая глухая трубка 29 также имеет внутренний диаметр 32 и наружный диаметр 33. Первый концевой участок 30 каждой глухой трубки 29 входит в соответствующее отверстие 27 первой связывающей плиты 18 и закрепляется в нем посредством деформации или сварки. Кроме того, второй концевой участок 31 каждой глухой трубки 29 входит в соответствующее отверстие 25 второй связывающей плиты 23 и закрепляется в ней, например, винтом (не показан) или путем образования сварного соединения. Таким образом, первая связывающая плита 18 и вторая связывающая плита 23 взаимосвязаны посредством глухих трубок 29 для обеспечения жесткости и целостности конструкции тепловыделяющей сборки 13.

Согласно фиг. 2, 3, 4, 5 и 6, вдоль продольных осей глухих трубок 29 и тепловыделяющих стержней 14, и коаксиально между первой связывающей плитой 18 и второй связывающей плитой 23 установлены расположенные соосно элементы решеток, обозначенные как единое целое позицией 34 и предназначенные для поддержания глухих трубок 29 и топливных стержней 14 в заданной конфигурации массива параллельных элементов. По вышеизложенным причинам экономии нейтронов, каждый элемент решетки 34 может быть выполнен из "ZIRCALOY-4" или подобного ему материала. Каждый элемент 34 решетки включает в себя наружную полосу 35, имеющую контур в виде правильного шестиугольника, расположенный поперек направления потока жидкости. Таким образом, наружная полоса имеет 6 объединенных в единое целое удлиненных боковых панелей 36, и каждая боковая панель расположена под заданным тупым углом к смежной панели 36, чтобы наружная полоса 35 образовывала контур правильного шестиугольника. Поперек направления потока жидкости и поперек внутренней части наружной полосы 35 расположена совокупность удлиненных параллельных первых внутренних полос 37, причем каждая первая внутренняя полоса 37 имеет заданную длину. Первый концевой участок 38 каждой первой внутренней полосы 37 скреплен воедино с внутренней стенкой, например, с внутренней стенкой 39 наружной полосы 35, а второй концевой участок 40 скреплен воедино с другой внутренней стенкой, например, с внутренней стенкой 41 наружной полосы 35, так что по причинам, указанным ниже, каждая первая внутренняя полоса 37 параллельна заранее выбранной одной из боковых панелей 36. Кроме того, внутри наружной полосы 35, поперек нее и поперек жидкостного потока, имеется совокупность удлиненных и параллельных вторых внутренних полос 42, причем каждая вторая внутренняя полоса 42 имеет заданную длину. Аналогично, первый концевой участок 43 каждой второй внутренней полосы 42 скреплен воедино с одной внутренней стенкой наружной полосы 35, а второй концевой участок 44 скреплен воедино с другой внутренней стенкой наружной полосы 35 по причинам, указанным ниже. Как более подробно изложено ниже, каждая вторая внутренняя полоса 42 пересекает и взаимно соединена с каждой первой внутренней полосой 37 в плоскости пересечения 45 для создания элемента 34 решетки, конструкция которого подобна корзине для яиц. Первая внутренняя полоса 37 и вторая внутренняя полоса 42 таким образом соединены в плоскости пересечения 45 и могут быть скреплены посредством образования сварных соединений 46. В предпочтительном варианте осуществления изобретения каждая вторая внутренняя полоса 42 пересекает каждую первую внутреннюю полосу 37 под углом "θ", составляющим примерно 29°, к первой внутренней полосе 37, определяя совокупность ромбовидных ячеек 47 для стержней и совокупность, в основном, ромбовидных глухих ячеек 48 в элементе 34 решетки. Первая внутренняя полоса 37 имеет совокупность прорезей 49, перпендикулярных нижней кромке первой внутренней полосы 37 и простирающихся от указанной кромки приблизительно до продольной оси (т. е. до среднего участка) первой внутренней полосы 37 по причинам, описанным ниже. Кроме того, вторая внутренняя полоса 42 имеет совокупность прорезей 50, перпендикулярных верхней кромке второй внутренней полосы 42 и простирающихся от указанной приблизительно до продольной оси (т. е. до среднего участка) второй внутренней полосы 37 по причинам, описанным ниже. Назначением прорезей 49/50 является обеспечение средств взаимоблокировки или взаимного соединения первой внутренней полосы 37 и второй внутренней полосы 42. Таким образом, каждая прорезь 49, проходящая от нижней кромки первой внутренней полосы 37, расположена так, что обеспечивается сопряжение указанной прорези с соответствующей

прорезью 51, проходящей от верхней кромки второй внутренней полосы 42. Аналогично, каждая прорезь 51, проходящая от верхней кромки второй внутренней полосы 42, расположена так, что обеспечивается сопряжение указанной прорези с соответствующей ей прорезью 49, проходящей от нижней кромки первой внутренней полосы 37. Таким образом, каждая первая внутренняя полоса 37 взаимоблокирована или взаимно соединена со второй внутренней полосой 42 с целью создания конструкции типа корзины для яиц элемента 34 решетки. Конструкция типа корзины для яиц элемента 34 решетки обеспечивает максимальную целостность конструкции элемента 34 решетки, снижая в то же время до минимума вес элемента 34 решетки. Понятно, что термин "нижняя кромка" использован здесь для обозначения кромки, которая расположена ниже в потоке жидкости в активной зоне реактора 7, и термин "верхняя кромка" использован для обозначения кромки, расположенной выше в потоке жидкости. Следовательно, первая внутренняя полоса 37 и вторая внутренняя полоса 42 взаимоблокированы (или взаимно соединены), когда верхняя кромка каждой второй внутренней полосы 42 сопряженно установлена в прорезях 49 каждой первой внутренней полосы 42, а нижняя кромка каждой первой внутренней полосы 37 сопряженно установлена в прорезях 50 каждой второй внутренней полосы 42. Когда первые внутренние полосы 37 и вторые внутренние полосы 42 взаимоблокированы таким образом, каждая первая внутренняя полоса 37 будет пересекать каждую вторую внутреннюю полосу 42 в плоскости пересечения 45 и под заданным углом "θ", приблизительно равным 29°, как лучше всего видно из фиг. 5, формируя ромбовидные ячейки 47 для стержней и, в основном, ромбовидные глухие ячейки 48. Это важно, так как, когда тепловыделяющие стержни 14 проходят через соответствующие им ячейки 47 для стержней, они будут образовывать треугольные ячейки "плотной упаковки" тепловыделяющей сборки 13.

Как лучше всего видно из фиг. 4, каждый тепловыделяющий стержень 14 проходит через соответствующую одну из ячеек 47 для стержней и имеет продольную ось, в основном, параллельную оси потока жидкости. Кроме того, каждая глухая трубка 29 проходит через соответствующую одну из глухих ячеек 48 и имеет продольную ось, в основном, параллельную продольной оси потока жидкости. Следовательно, из фиг. 4 понятно, что каждый регулирующий стержень 28 окружен связанными с ним тепловыделяющими стержнями 14 для обеспечения удобства управления процессом деления в тепловыделяющих стержнях 14.

Согласно фиг. 6 и 7, каждая глухая трубка 29 закреплена, например, посредством вдавливания и/или сварки, в связанной с ней глухой ячейке 48 с целью закрепления каждого элемента 34 решетки в данном положении вдоль длины тепловыделяющей сборки 13. Кроме того, у внутренних стенок каждой ячейки 48 для стержня выполнено множество упругих пружинных элементов 52, выступающих внутрь ячейки или из нее наружу и предназначенных для фрикционного опирания и фиксации каждого тепловыделяющего стержня в соответствующей ему ячейке 47 для стержня таким образом, чтобы этот тепловыделяющий стержень не мог в процессе нормальной работы испытывать осевые перемещения, боковые перемещения и повороты вокруг оси и не создавал связанные с этими перемещениями аварийные ситуации в активной зоне реактора. Каждый пружинный элемент 52 расположен под острым углом, составляющим примерно 45°, относительно упругой первой впадины 53 и упругой второй впадины 54, которые расположены коаксиально и образованы стенками каждой ячейки 48 для стержней. Впадины 53/54 удерживают каждый тепловыделяющий стержень 14 с помощью трения. В предпочтительном варианте осуществления изобретения первая впадина 53 расположена выше в потоке жидкого охладителя, тогда как вторая впадина 54 расположена ниже в потоке жидкого охладителя. Из вышеприведенного описания понятно, что каждый тепловыделяющий стержень 14 опирается и удерживается внутри соответствующей ячейки 47 для стержней в шести точках сцепления или контакта, поскольку внутри каждой ячейки 47 для стержня обращены четыре впадины и выступают два пружинных элемента, предназначенные для обеспечения фрикционного сцепления каждого тепловыделяющего стержня 14.

Согласно фиг. 5, 6, 7, 8 и 9, с верхней кромкой каждой первой внутренней полосы 37 и каждой второй внутренней полосы 42 скреплены воедино и связаны с каждой ячейкой 47 для стержня отклоняющие средства, например, совокупность смещенных друг относительно друга отклоняющих лопаток 55, предназначенных для отклонения компонента потока жидкости, протекающего вокруг каждого тепловыделяющего стержня 14, проходящего через соответствующую ему ячейку 47 для стержня. Спиральный криволинейный контур каждой отклоняющей лопатки 55 расположен выше и частично выступает над связанной с ней ячейкой 47 для стержня с целью образования вихря, когда поток жидкости протекает мимо ячейки 47 для стержня и через нее, с тем, чтобы отклоненный компонент потока жидкости, образовывал водоворот вокруг продольной центральной оси тепловыделяющего стержня 14. В предпочтительном варианте осуществления изобретения совокупность отклоняющих лопаток 55 является парой отклоняющих лопаток 55, связанных с каждой ячейкой 47 для стержня. Каждая отклоняющая лопатка 55 имеет спирально изогнутую подповерхность 56 для формирования вышеуказанного вихря. Отклоняющие лопатки 55 могут быть изогнуты внутрь от верхней кромки внутренних полос 37/42 так, чтобы образовать, в основном, острый угол к направлению потока струи жидкости. Две отклоняющие лопатки 55 противоположно ориентированы относительно друг друга, так что оба спиральных вихря, образованные парой отклоняющих лопаток 55, связанных с каждой ячейкой 47 для стержня, не могут течь в противотоке друг с другом. Исключение такого противотока предотвращает разрыв спиральных вихрей и обеспечивает необходимый рисунок комбинированного спирального вихревого потока, который восходит по спирали вверх вдоль наружной поверхности тепловыделяющего стержня 14. Следовательно, когда первые внутренние полосы 37 и вторые внутренние полосы 42 должным образом взаимоблокированы, как описано выше, каждая ячейка 47 для стержня будет иметь две связанные с ней отклоняющие лопатки 55. Обеспечение двумя отклоняющими лопатками 55 гарантирует, что компонент потока жидкости, отклоняемый относительно продольной оси каждого тепловыделяющего

стержня 14, будет оказывать большее закручивающее воздействие, чем при наличии только одной отклоняющей лопатки 55. Каждые две отклоняющие лопатки 55 простираются или частично выступают над связанной с ней ячейкой 47 для стержня с целью отклонения компонента потока жидкости, протекающего снизу вверх через ячейку 47 для стержня. В этой связи следует отметить, что подповерхность 56 каждой отклоняющей лопатки 55 имеет криволинейный профиль, простирающийся вверх, от верхней кромки первой внутренней полосы 37 или второй внутренней полосы 42 на заданное расстояние над ячейкой 47 для стержня, и выступает вверх над каждой ячейкой 47 для стержня с целью изменения направления протекающего потока на направление, которое указано стрелками на фиг. 8. Кроме того, две отклоняющие лопатки, связанные с каждой ячейкой 47 для стержня, установлены так, что одна из двух отклоняющих лопаток 55 расположена по существу около острого угла ячейки 47 для стержня. То есть, две отклоняющие лопатки 55 размещены, в основном, симметрично относительно большей диагонали ячейки 47 для стержня. Более того, каждая первая внутренняя полоса 37 и каждая вторая внутренняя полоса 42 могут иметь совокупность удаленных друг от друга приваренных язычков 57, образующих единое целое с нижней кромкой каждой второй внутренней полосы 42, выступающих из нее наружу и параллельных потоку жидкости, предназначенных для того, чтобы обеспечить наличие свариваемого материала для сваривания первой и второй внутренних полос 37/42 после того, как первая и вторая внутренние полосы 37/42 будут надлежащим образом взаимоблокированы. Кроме того, наружная полоса 36 может включать в себя совокупность смещенных друг относительно друга отогнутых внутрь язычков 58, скрепленных воедино с нижней кромкой указанной полосы и выступающих из нее наружу, с целью облегчения проскальзывания первой тепловыделяющей сборки 13 относительно второй тепловыделяющей сборки 13 во время операций перегрузки топлива, вследствие чего первая тепловыделяющая сборка 13 не будет создавать препятствия второй тепловыделяющей сборке или "зависать" на ней. Помимо этого, наружная полоса 36 может включать в себя совокупность удаленных друг от друга и отогнутых внутрь отклоняющих ребер 59, предназначенных для отклонения компонента потока жидкости к тепловыделяющим стержням 14, расположенным вдоль внутренней боковой поверхности наружной полосы 36. В этой связи, каждое отклоняющее ребро 59 имеет, в основном, пирамидальный наружный контур, скреплено своим основанием воедино с верхней кромкой наружной полосы 36, простирается поверх связанной с ним ячейки 47 для стержня и частично выступает над ней.

При работе реактора 1 поток жидкого замедлителя-охлаждителя поступает во входное сопло 4 и течет, в основном, в направлении, соответствующем одной из горизонтальных стрелок, показанных на фиг. 1. Затем поток жидкости вынуждают поворачивать вверх, проходить через отверстия 12 и протекать мимо каждой тепловыделяющей сборки 13, расположенной в активной зоне 7 реактора, и через эту сборку, причем жидкость течет через активную зону 7 реактора, в основном, в направлении, показанном на фиг. 1 вертикальными штрихами. После того, как поток жидкости прошел через активную зону 7 реактора, он выходит из реактора 1 через выходное сопло 5 и течет, в основном, в направлении, показанном на фиг. 1 другой горизонтальной стрелкой.

Поскольку поток жидкости протекает через активную зону 7 реактора, он будет проходить через каждую ромбовидную ячейку 47 для стержня, образованную элементом 34 решетки. Так как поток жидкости протекает через каждый элемент 34 решетки и связанные с ней ячейки 47 для стержней, скорость потока жидкости будет уменьшаться и будет происходить падение давления вследствие того, что элемент решетки, расположенный в потоке жидкости, образует препятствие. Это падение давления может привести к пузырьковому кипению на наружной поверхности тепловыделяющего стержня 14 в области ячейки 47 для стержня. При отсутствии отклоняющих лопаток 55 и тепловыделяющим стержнем 14 достаточно большого количества тепла, на поверхности тепловыделяющего стержня 14 может иметь место частичное или устойчивое пленочное кипение (т. е. DNB), результатом которого будет "пережог", что нежелательно из соображений безопасности. Таким образом, отклоняющие лопатки 55 обеспечивают отклонение потока жидкости по спирали внутрь к наружной поверхности тепловыделяющего стержня 14, что дает возможность избежать частичного или устойчивого пленочного кипения. Даже в случае шестиугольной решетки с треугольными ячейками, но без отклоняющих лопаток, применение отклоняющих лопаток 55 улучшает показатели противодействия возникновению DNB и теплопроизводительность. Такое улучшение показателей противодействия DNB обеспечит увеличение теплового К.П.Д. тепловыделяющего стержня примерно на 25 % по сравнению с существующими конструкциями, имеющими шестиугольные решетки с треугольными ячейками, но не имеющими отклоняющих лопаток или отклоняющих ребер.

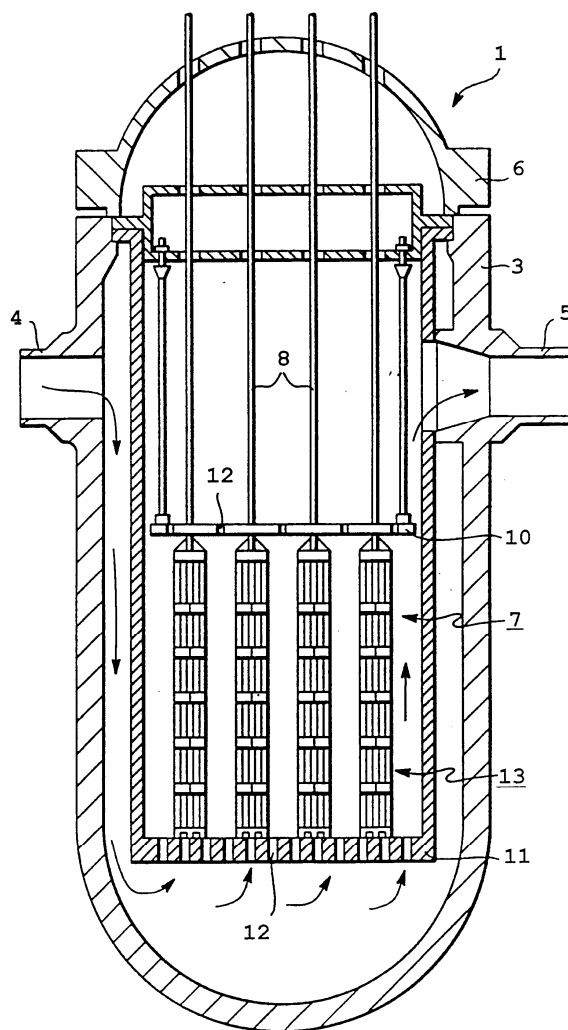
Ромбовидный поперечный контур каждой ячейки 47 для стержня взаимодействует, или содействует, с изогнутой подповерхностью 56 каждой отклоняющей лопатки 55 для образования вихря с тем, чтобы избежать DNB. В этой связи, отметим, что ромбовидный контур каждой ячейки 47 для стержня имеет уменьшенную площадь, поперечную протекающему потоку, по сравнению с квадратной ячейкой для стержня в более традиционных конструкциях активной зоны. Следовательно, из-за уменьшенной поперечной площади ячейки 47 для стержня, обусловленной ромбовидной формой ячейки 47 для стержня, большая часть потока жидкости, протекающего вверх через ячейку 47 для стержня, вынуждена контактировать с подповерхностью 56 каждой отклоняющей лопатки 55 при выходе потока жидкости из ячейки 47 для стержня. Следовательно, так как большая часть потока жидкости контактирует с подповерхностью 56 отклоняющей лопатки 55, то и отклоняться будет большая часть потока жидкости, чем в случае традиционного массива с квадратными ячейками. Это в конечном счете вызовет больший вихрь при поддержании жидкого, по существу, однофазного потока на наружной поверхности тепловыделяющего стержня для исключения DNB.

Кроме того, ромбовидные ячейки 47 для стержней элемента 34 решетки в сочетании с отклоняющими лопатками 55, по существу, исключают потребность в больших и более дорогих насосах охладителя

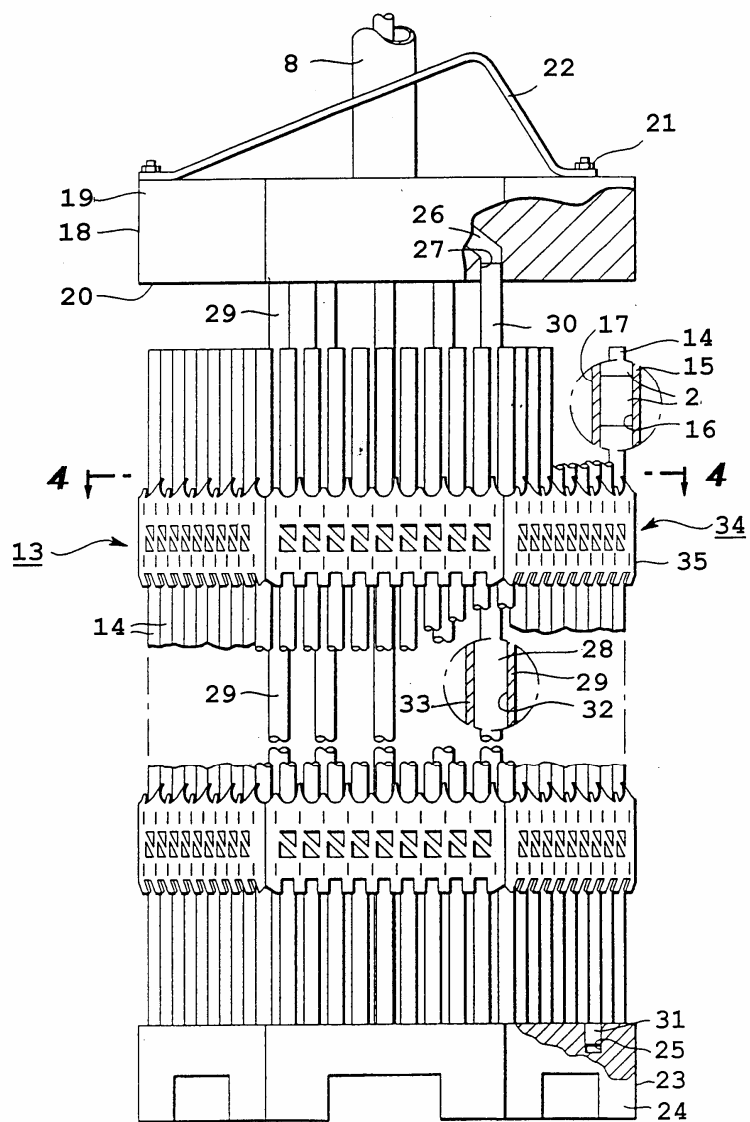
реактора, увеличения скорости потока жидкости с целью поддержания однофазного потока жидкости на наружной поверхности тепловыделяющих стержней 14. Это происходит в связи с тем, что вихри, генерируемые каждой ячейкой 47 для стержня и связанными с ней отклоняющими лопатками 55, ускоряют поток жидкости вокруг наружной поверхности каждого тепловыделяющего стержня 14.

Кроме того, ромбовидные ячейки для стержней обеспечивают создание массива тепловыделяющих стержней, и уменьшенный шаг между центрами смежных тепловыделяющих стержней 14 по сравнению с традиционным массивом тепловыделяющих стержней, имеющим квадратные ячейки. Это позволяет более плотно упаковывать тепловыделяющие стержни 14 и получать больше энергии от активной зоны реактора данного размера. Это желательно, так как более плотная упаковка активной зоны реактора обеспечивает более доходное производство энергии в пересчете на единицу объема, приводящее, в конечном счете, к увеличению отдачи от вложенных в АЭС инвестиций.

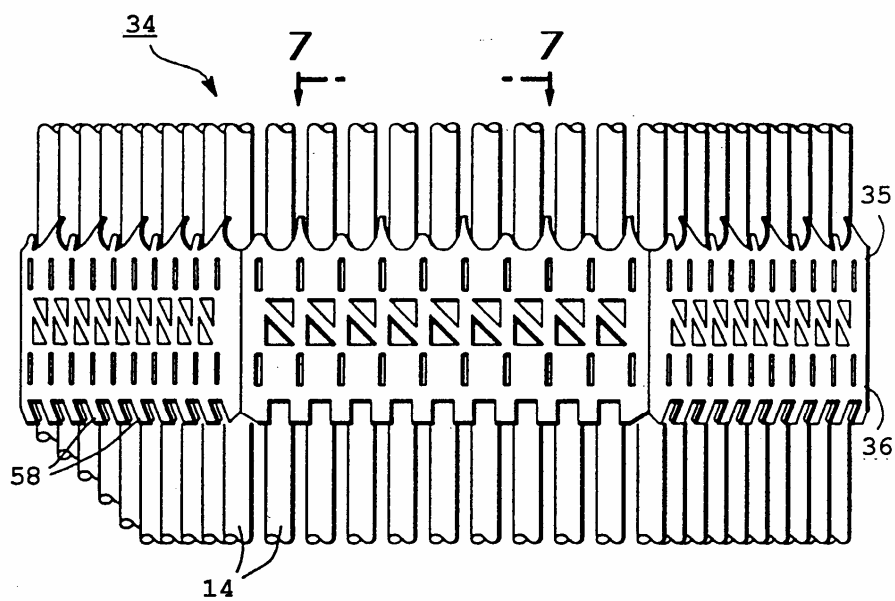
Кроме того, из вышеизложенного описания понятно, что отклоняющие лопатки 55 вынуждают массу более холодного охладителя смешиваться с более теплой жидкостью возле поверхности (т. е. возле наружного диаметра 17) каждого тепловыделяющего стержня 14, так что разность температур между объемом охладителя и жидкостью возле поверхности тепловыделяющего стержня сводятся к минимуму. Это обеспечивает по существу однофазный поток жидкости над поверхностью тепловыделяющего стержня с целью исключения DNB.



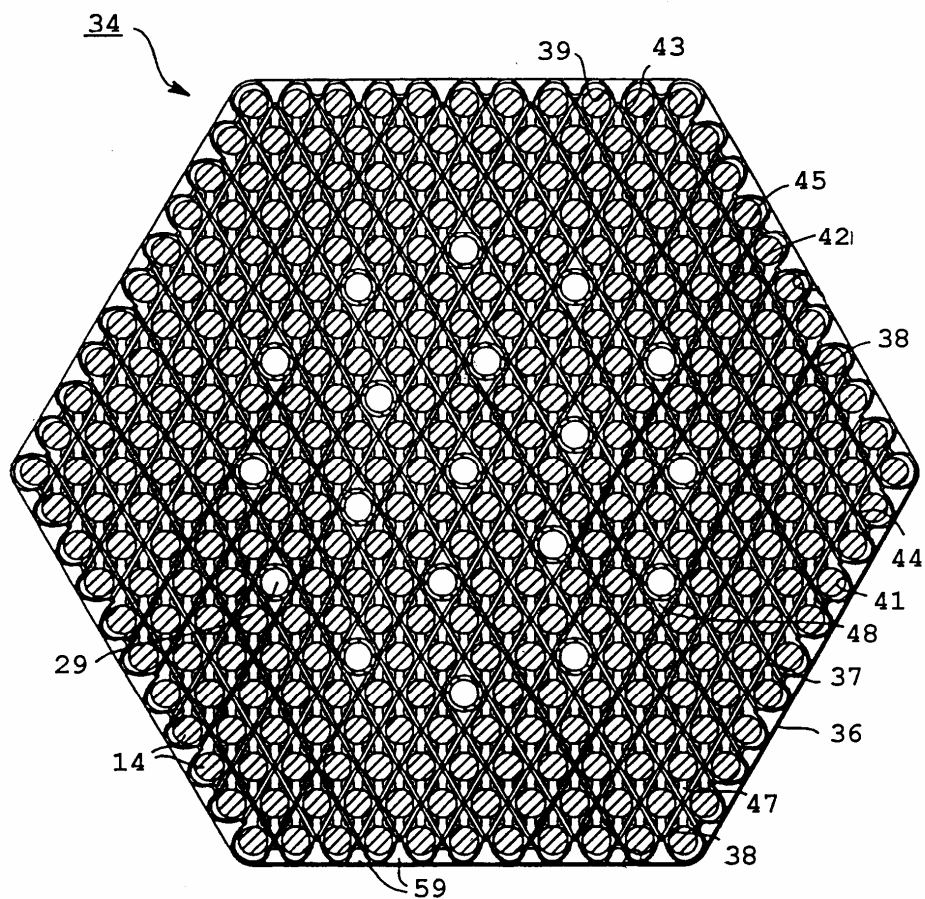
Фиг. 1



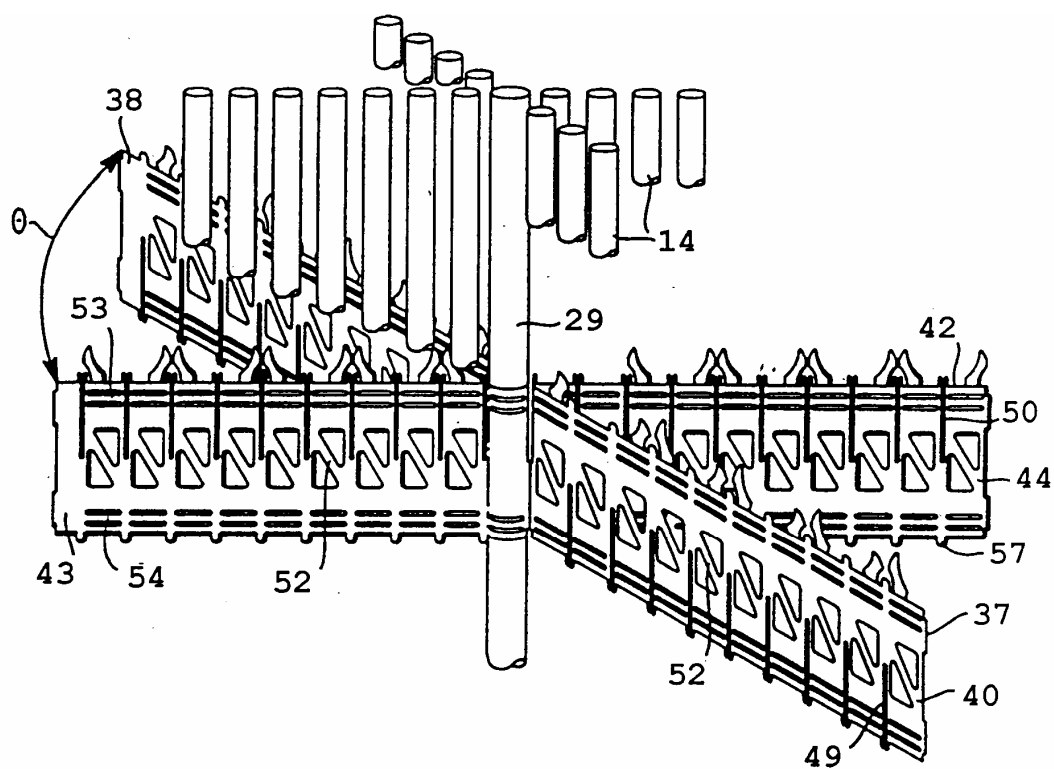
Фиг. 2



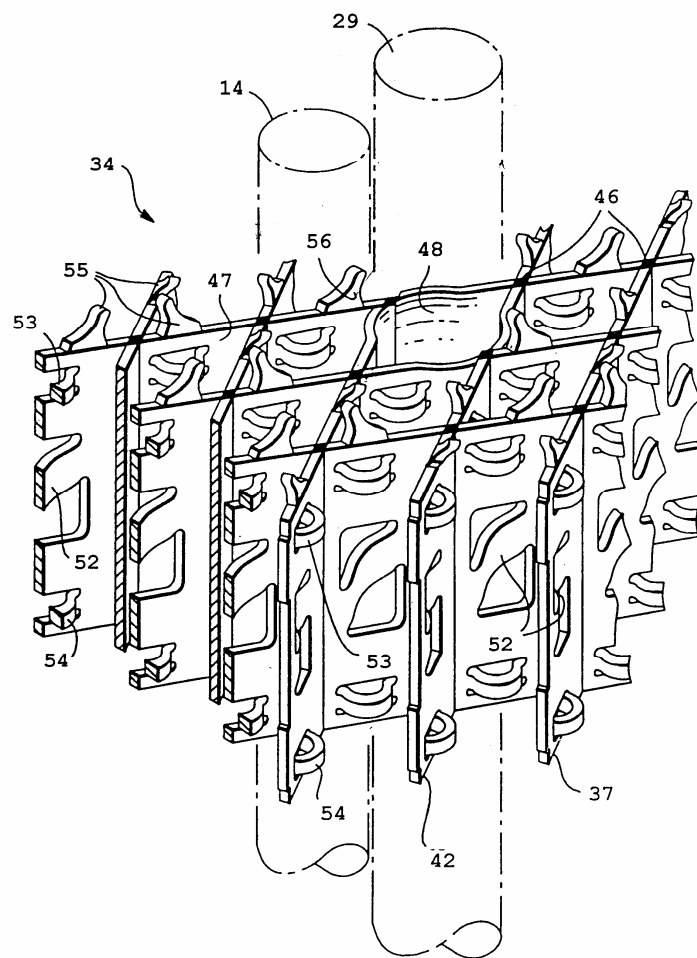
Фиг. 3



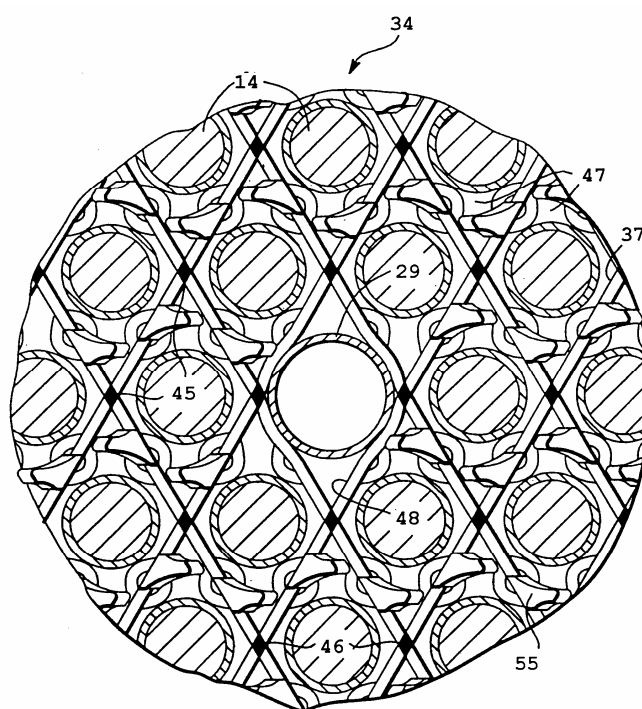
Фиг. 4



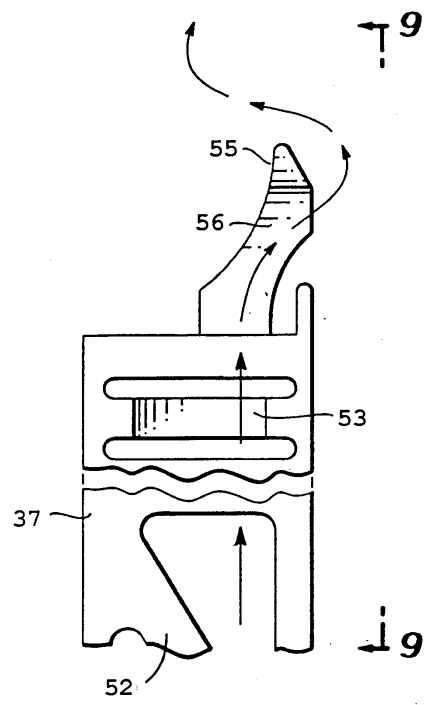
Фиг. 5



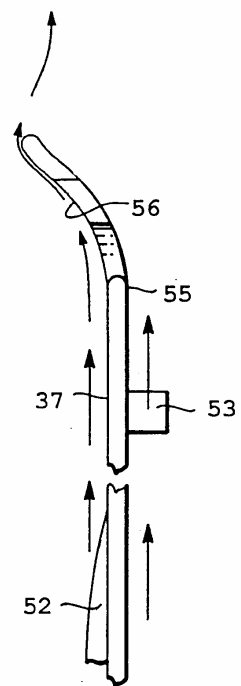
Фиг. 6



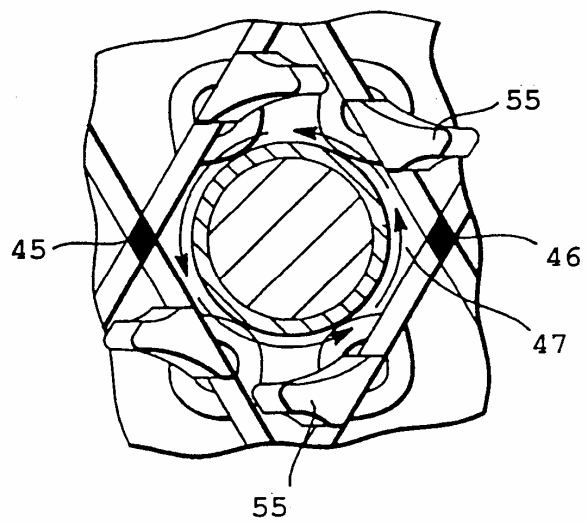
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг.10

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03
