

Изобретение относится к технике аэрации сточных вод при биологической очистке, в частности, к устройствам для пневматической аэрации.

Изобретение может быть использовано в системах флотации, при осуществлении хлорирования воды, для подачи воздуха при водно-воздушной промывке зернистого наполнителя фильтров, применяемых при очистке природных и производственных сточных вод, отводе отфильтрованной жидкости после ее очистки, а также при дренировании грунтов при их осушении.

Известно аэрирующее устройство (рекламный проспект "Brandol area" фирмы Schumacher GmbH & Co. KG, Germany, 1989), содержащее трубчатый воздухопровод, вдоль одной образующей которого выполнены радиальные отверстия. Над каждым отверстием на боковой стенке воздухопровода жестко укреплен диспергирующий элемент, выполненный в виде цилиндра, на каждом торце которого установлена заглушка. На боковой поверхности цилиндра, обращенной к воздухопроводу, соосно его радиальным отверстиям выполнены отверстия для прохода сжатого воздуха из воздухопровода в диспергирующий элемент. Диспергирующий элемент выполнен из керамики Брандол, представляющий собой смесь природного чистого кварцевого зерна и искусственной смолы. Зернистость этой керамики составляет 80 - 120, а диаметр пор $19 \cdot 10^{-5}$ м.

Указанное аэрирующее устройство обладает высокой степенью диспергирования подаваемого в аэрируемую жидкость сжатого воздуха. Однако его конструктивное выполнение не позволяет равномерно распределять пузырьки воздуха вдоль всей длины воздухопровода, что связано с дискретным расположением диспергирующих элементов на боковой стенке воздухопровода.

Кроме того, наличие отдельных диспергирующих элементов и сложность узлов их крепления к воздухопроводу, а также применение дорогостоящих материалов для их изготовления увеличивает трудоемкость монтажа аэрирующего устройства и его стоимость.

Известно аэрирующее устройство (А.с. СССР №1803391, кл. C02F3/20, опубл. Бюл. №11, 1993), содержащее трубчатый воздухопровод, наружная поверхность которого выполнена в виде равномерно чередующихся продольных ребер и углублений. В углублениях выполнены радиальные отверстия. На наружной поверхности воздухопровода выполнено двухслойное диспергирующее покрытие. Внутренний слой этого покрытия выполнен из волокнистого материала, плотно навитого на наружную поверхность воздухопровода, а наружный слой выполнен в виде сплошного покрытия из волокнистого материала.

Указанное аэрирующее устройство имеет более простое конструктивное выполнение, чем вышеописанное устройство.

Однако в указанном устройстве не оптимизированы параметры аэрирующего устройства касательно подачи сжатого воздуха, времени службы устройства. Поэтому, например, при недостаточной плотности слоев диспергирующего покрытия значительно снижается степень диспергирования подаваемого в обрабатываемую жидкость сжатого воздуха и равномерность распределения пузырьков воздуха в зоне контакта с ней, то есть максимальное количество подаваемого в воздухопровод сжатого

воздуха будет попадать в эту жидкость на начальном участке воздухопровода и не будет достигать его конечного участка.

При избыточной плотности слоев диспергирующего покрытия существенно увеличатся затраты энергии на обеспечение эффективной аэрации обрабатываемой жидкости, так как в этом случае значительно повышается сопротивление боковой стенки воздухопровода проходу сжатого воздуха в аэрируемую жидкость, что требует повышения давления в воздухопроводе для обеспечения подачи в обрабатываемую жидкость заданного количества сжатого воздуха.

В основу изобретения поставлена задача создания аэрирующего устройства, которое обладало бы повышенной степенью диспергирования подаваемого в аэрируемую жидкость сжатого воздуха, за счет большей равномерности распределения пузырьков воздуха в зоне контакта с обрабатываемой жидкостью вдоль всей длины аэрирующего устройства, обеспечило бы снижение затрат энергии на диспергирование воздуха при обеспечении эффективной аэрации обрабатываемой жидкости, трудоемкости при монтаже аэрирующего устройства и его стоимости.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в аэрирующем устройстве, содержащем трубчатый воздухопровод, наружная поверхность которого выполнена в виде равномерно чередующихся ребер и углублений, в которых выполнены радиальные отверстия, при этом на упомянутую наружную поверхность нанесено диспергирующее покрытие, образующее с ребрами и углублениями каналы и выполненное двухслойным из волокнистого материала, согласно изобретению, внутренний слой диспергирующего покрытия выполнен в виде фибрированной нити, навитой без зазоров на наружной поверхности трубчатого воздухопровода с поверхностной плотностью $1,1 \dots 2,0 \text{ кг/м}^2$, а наружный слой представляет собой пористую оболочку, выполненную из материала, имеющего хаотически уложенные волокна диаметром $6,0 \cdot 10^{-5} \dots 21 \cdot 10^{-5}$ м, сплавленные в точках пересечения и нанесенную на внутренний слой с плотностью $3,5 \cdot 10^2 \dots 6,0 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$, при этом каждое радиальное отверстие имеет диаметр, составляющий 0,05 ... 0,12 внутреннего диаметра трубчатого воздухопровода.

Решение задачи обеспечивается и тем, что расстояние между соседними радиальными отверстиями составляет 1,3 ... 2,8 внутреннего диаметра трубчатого воздухопровода; а также тем, что площадь поперечного сечения каждого канала составляет 0,2 ... 0,9 площади поперечного сечения радиального отверстия.

Кроме того, решение задачи обеспечивается также и тем, что расстояние между соседними ребрами составляет 0,15 ... 0,4 внутреннего диаметра трубчатого воздухопровода, при этом ребра и углубления могут быть выполнены продольными или по спирали.

Выполнение внутреннего слоя диспергирующего покрытия в виде фибрированной нити, навитой без зазоров на наружной поверхности трубчатого воздухопровода обеспечивает воздухопроницаемость указанного слоя.

Указанная поверхностная плотность внутреннего слоя диспергирующего покрытия позволяет достичь оптимальной степени

диспергирования воздуха при его проходе через этот слой и приводит к равномерному распределению пузырьков воздуха вдоль всей длины воздуховода, что повышает эффективность аэрации. Уменьшение поверхностной плотности внутреннего слоя менее $1,1 \text{ кг/м}^2$ приведет к уменьшению сопротивления этого слоя и увеличению размера его пор и, как следствие этого, увеличению размера пузырьков воздуха, проходящих через внутренний слой диспергирующего покрытия, а это снижает эффективность аэрации. Кроме того, при этом возрастает неравномерность аэрации по длине воздуховода, так как на начальном его участке будет выходить большее количество воздуха, который не будет достигать конечного участка воздуховода, что также снижает эффективность аэрации.

Увеличение поверхностной плотности внутреннего слоя диспергирующего покрытия более $2,0 \text{ кг/м}^2$ приведет к значительному уменьшению пор этого слоя и, следовательно, к увеличению его сопротивления проходу пузырьков воздуха, что в свою очередь снизит эффективность аэрации. Увеличение же давления для обеспечения прохода воздуха через поры внутреннего слоя в этом случае приведет к увеличению энергозатрат.

Указанное выполнение наружного слоя диспергирующего покрытия обеспечивает повышение эффективности аэрации, так как исключает слипание образованных при проходе через внутренний слой пузырьков воздуха и обеспечивает высокую степень диспергирования воздуха при его контакте с обрабатываемой жидкостью. Кроме того, при указанных характеристиках обоих слоев диспергирующего покрытия оптимизируется площадь контакта воздуха и жидкости, так как этот контакт начинает происходить уже в толще наружного слоя. В этом случае диспергирующее покрытие имеет оптимальное сопротивление выходу воздуха вдоль всей длины трубчатого воздуховода.

Уменьшение плотности наружного слоя менее $3,5 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$ приведет к снижению сопротивления проходу воздуха через этот слой, что вызовет консолидацию пузырьков воздуха, поступающего из внутреннего слоя диспергирующего покрытия, что, в свою очередь, снизит степень диспергирования воздуха и нарушит равномерность распределения пузырьков воздуха по длине воздуховода.

Увеличение плотности наружного слоя более $6,0 \cdot 10,2 \text{ кг/м}^3$ приведет к уменьшению его пор и повысит сопротивление диспергирующего покрытия выходу пузырьков воздуха в обрабатываемую жидкость, что при сохранении энергозатрат значительно снизит эффективность аэрации.

Хаотическое расположение волокон наружного слоя диспергирующего покрытия при заданных диаметрах указанных волокон обеспечивает оптимальную пористость наружного слоя, при которой сохраняется степень диспергирования воздуха, достигаемая при прохождении воздуха через внутренний слой, благодаря исключению коалесценции пузырьков воздуха.

Сплавление волокон в точках их пересечения обеспечивает заданную прочность наружного слоя, которая необходима при работе аэрирующего устройства и при его интенсивной очистке воздухом после загрязнения для

восстановления аэрирующей способности указанного устройства. Таким образом, сплавление волокон способствует повышению степени диспергирования воздуха и повышению срока эксплуатации аэрирующего устройства.

Диаметр волокон в указанных пределах обеспечивает оптимальное соотношение пористости обоих слоев диспергирующего покрытия и оптимальную степень диспергирования воздуха. Получаемое при этих соотношениях сопротивление стенки трубчатого воздуховода прохождению воздуха обеспечивает равномерное распределение пузырьков воздуха вдоль всей длины аэрирующего устройства.

Увеличение диаметра волокон более $21 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ приведет к уменьшению степени диспергирования воздуха и создаст существенную неравномерность выхода диспергированного воздуха в обрабатываемую жидкость по длине воздуховода, что связано с уменьшением сопротивления боковой стенки воздуховода выходу воздуха. При этом большая часть воздуха будет выходить в обрабатываемую жидкость на начальном участке воздуховода и не будет достигать его конечного участка. Следствием этого может быть быстрый выход аэрирующего устройства из строя, так как при недостаточном расходе воздуха на конечном участке воздуховода в последний будет просачиваться обрабатываемая жидкость, загрязняя диспергирующее покрытие.

Уменьшение диаметра волокон менее $6,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ приведет к существенному повышению сопротивления стенки воздуховода проходу воздуха, что при сокращении заданного расхода воздуха на аэрацию потребует значительного повышения расхода энергии.

Указанный размер радиальных отверстий повышает эффективность аэрации, так как обеспечивает равномерную подачу сжатого воздуха в каналы, образованные углублениями между соседними ребрами и внутренним слоем диспергирующего покрытия, по всей длине аэрирующего устройства. При этом указанное расстояние между соседними радиальными отверстиями обеспечивает создание более равномерного давления воздуха в каждом канале. Все это приводит к равномерному подводу сжатого воздуха к диспергирующему покрытию вдоль всей длины воздуховода и равномерному распределению пузырьков воздуха в обрабатываемой жидкости.

Увеличение диаметра радиальных отверстий более $0,12$ внутреннего диаметра воздуховода приведет к снижению равномерности распределения сжатого воздуха в каналах по длине аэрирующего устройства. При этом будет наблюдаться повышенный расход воздуха на начальном участке воздуховода, а на конечном участке воздуховода расход будет уменьшаться и при значительном увеличении диаметра радиальных отверстий воздух может вообще не достигнуть конечного участка. При этом воздуховод на конечном участке будет, частично заполняться обрабатываемой жидкостью, что приведет к уменьшению степени диспергирования воздуха, так как при повышении его расхода на начальном участке воздуховода резко возрастает коалесценция пузырьков воздуха при прохождении их через оба слоя диспергирующего покрытия.

Уменьшение диаметра радиальных отверстий менее $0,05$ внутреннего диаметра трубчатого воздуховода приведет к существенному

возрастанию энергозатрат на аэрацию и, кроме того, к быстрому зарастанию указанных отверстий частицами пыли и грязи, что приведет к уменьшению срока службы аэрирующего устройства.

Уменьшение расстояния между соседними радиальными отверстиями менее указанного (при сохранении их диаметра) приведет к снижению равномерности расхода воздуха по длине аэрирующего устройства и, кроме того, из-за повышенного расхода воздуха на начальном участке трубчатого воздуховода, будет уменьшаться степень диспергирования воздуха вследствие возрастания коалесценции воздушных пузырьков, что снизит эффективность аэрации.

Увеличение указанного расстояния приведет к снижению равномерности распределения воздуха на участке между соседними радиальными отверстиями. При этом средний между соседними отверстиями участок канала частично или полностью будет заполняться обрабатываемой жидкостью, что приведет к быстрому его загрязнению и, как следствие, сокращению срока эффективной работы аэрирующего устройства. Для сохранения заданной эффективности аэрации потребуется подача большого расхода сжатого воздуха, что сопряжено с возрастанием энергозатрат на аэрацию.

При указанной взаимной зависимости площади поперечного сечения канала, образованного смежными ребрами и внутренним слоем диспергирующего покрытия и площади поперечного сечения радиальных отверстий достигается равномерное распределение воздуха на участке между двумя соседними радиальными отверстиями.

Уменьшение площади поперечного сечения каждого канала менее указанного значения увеличит сопротивление канала проходу воздуха и последний будет выходить "факелом" через диспергирующее покрытие напротив каждого радиального отверстия, слабо распространяясь на примыкающих к указанному отверстию участках. Кроме того, уменьшение площади поперечного сечения канала приведет к его быстрому зарастанию пылью и грязью и уменьшению срока работы аэрирующего устройства.

Увеличение площади поперечного сечения каждого канала выше указанного значения нецелесообразно из-за повышенного расхода материала на выполнение более высоких ребер и, связанного с этим, увеличения наружного диаметра трубчатого воздуховода, при котором увеличивается расход материала на выполнение диспергирующего покрытия. Кроме того, увеличение площади поперечного сечения каждого канала приведет к ухудшению работы аэрирующего устройства, так как при этом уменьшится напор воздуха и в канал в средней его части между отверстиями будет попадать обрабатываемая жидкость. В этом случае уменьшится равномерность аэрации на участке между радиальными отверстиями и степень диспергирования воздуха.

Очевидно, что воздух в диспергированном виде входит в контакт с жидкостью, задействуя при этом только определенный верхний сектор аэрирующего устройства, размер которого и определяет зону контакта жидкостью. Размер этой зоны зависит от количества подаваемого сжатого воздуха и загрязнения каналов и пор диспергирующего покрытия частицами грязи и пыли, содержащимися как в жидкости, так и в

подаваемом воздухе. Поэтому для одновременной активизации наибольшей числа каналов и, соответственно, площади диспергирующего покрытия, ребра выполнены по окружности трубчатого воздуховода на расстоянии друг от друга, составляющем 0,15 ... 0,4 внутреннего диаметра трубчатого воздуховода.

Увеличение расстояния между соседними ребрами более указанного приведет к тому, что сектор активной работы аэрирующего устройства будет ограничен одним каналом, что снизит степень диспергирования воздуха, так как при плотном выходе пузырьков воздуха (на единицу поверхности диспергирующего покрытия) возрастает их коалесценция. При этом для сохранения эффективности аэрации потребуется подавать большее количество воздуха, что сопряжено с увеличением энергозатрат на аэрацию.

Уменьшение расстояния между ребрами менее указанного значения приведет к уменьшению площади поперечного сечения каналов и быстрому их загрязнению, что в свою очередь приведет к сокращению срока эксплуатации аэрирующего устройства. При этом также возрастут энергозатраты.

Следует отметить, что при небольшой глубине обрабатываемой жидкости или при использовании низконапорных воздуходушных агрегатов ребра и соответствующие им углубления выполняются на наружной поверхности трубчатого воздуховода по спирали. При этом все параметры, относящиеся к конструктивному выполнению ребер, углублений, каналов и радиальных отверстий аналогичны их выполнению в продольном варианте. Это позволяет увеличить зону контакта пузырьков воздуха и обрабатываемой жидкости, что улучшает равномерность выхода воздуха, снижает коалесценцию его пузырьков и увеличивает эффективность аэрации.

Таким образом, в предлагаемом аэрирующем устройстве оптимизированы все параметры касательно подачи воздуха в обрабатываемую жидкость, равномерного распределения пузырьков воздуха в зоне их контакта с жидкостью, потерь давления и времени службы аэрирующего устройства. При этом обеспечено увеличение степени диспергирования подаваемого в аэрируемую жидкость воздуха, повышение равномерности распределения пузырьков воздуха в зоне контакта с обрабатываемой жидкостью, вдоль всей длины аэрирующего устройства, снижение затрат энергии на диспергирование воздуха и трудоемкости при монтаже аэрирующего устройства, что снижает его стоимость при обеспечении эффективной аэрации обрабатываемой жидкости.

При этом конструкция предлагаемого аэрирующего устройства имеет высокую прочность и высокую устойчивость к агрессивным средам и гидравлическим ударам.

На фиг.1 схематично изображено предлагаемое аэрирующее устройство в аксонометрической проекции с продольными ребрами и углублениями; на фиг.2 - поперечное сечение аэрирующего устройства; на фиг.3 - фрагмент трубчатого воздуховода с ребрами и углублениями, выполненными по спирали; на фиг.4 - схематично изображен общий вид аэрирующей системы.

Аэрирующее устройство, выполненное согласно изобретению, содержит (фиг.1) трубчатый воздуховод 1, наружная поверхность

которого выполнена в виде равномерно чередующихся продольных ребер 2 и углублений 3 (фиг.2). На наружную поверхность трубчатого воздуховода 1 нанесено двухслойное диспергирующее покрытие 4. Внутренний слой 5 диспергирующего покрытия 4 выполнен из волокнистого материала в виде фибрированной нити, плотно навитой без зазоров на упомянутой поверхности с поверхностной плотностью $1,1 \dots 2,0 \text{ кг/м}^2$. Наружный слой 6 диспергирующего покрытия 4 представляет собой пористую оболочку, выполненную из материала, имеющего хаотически уложенные волокна диаметром $6,0 \cdot 10^{-5} \dots 21 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, сплавленные в точках их пересечения. При этом наружный слой 6 нанесен на внутренний слой 5 с плотностью $3,5 \cdot 10^2 \dots 6,0 \cdot 10 \text{ кг/м}^3$.

Диспергирующее покрытие 4 выполнено по типу обратного фильтра, так как пористость и средний размер пор наружного слоя 6 больше пористости и среднего размера пор внутреннего слоя 5.

Внутренняя поверхность внутреннего слоя 5 и наружная поверхность ребер 2 и упомянутых углублений 3 образуют продольные каналы 7.

Расстояние между соседними ребрами 2 составляет $0,15 \dots 0,4$ внутреннего диаметра трубчатого воздуховода 1.

Для подачи сжатого воздуха в продольные каналы 7 из полости 8 трубчатого воздуховода 1, в боковой стенке последнего в каждом из углублений 3 выполнен ряд радиальных отверстий 9.

Каждое радиальное отверстие 9 имеет диаметр, составляющий $0,05 \dots 0,12$ внутреннего диаметра трубчатого воздуховода 1, и выполнено на расстоянии от соседнего радиального отверстия 9, составляющем $1,3 \dots 2,8$ внутреннего диаметра трубчатого воздуховода 1.

При этом каждый продольный канал 7 имеет площадь поперечного сечения, составляющую $0,2 \dots 0,9$ площади поперечного сечения радиального отверстия 9.

На одном торце трубчатого воздуховода 1 установлена глухая заглушка 1, препятствующая выходу сжатого воздуха из полости 8 указанного воздуховода 1, а на другом торце - заглушка 11, имеющая отверстие 12 для подачи сжатого воздуха в полость 8 трубчатого воздуховода 1 по трубопроводу 13 (фиг.4) от воздуходувного агрегата (на фиг. не показано).

В отдельных случаях, оговоренных выше, чередующиеся ребра 2 и соответствующие им углубления могут быть выполнены по спирали (фиг.3).

В зависимости от размеров аэротенка (на фиг. не показан) в котором монтируется аэрирующая система, предлагаемое аэрирующее устройство (фиг.1) может быть выполнено составным из отдельных модулей 14, скрепленных между собой известным методом, например, резьбовыми муфтами 15.

В примере конкретного выполнения трубчатый воздуховод 1 выполнен из полиэтилена низкого давления с внутренним диаметром порядка $0,1 \text{ м}$.

Количество ребер 2 и соответствующих им углублений 3 зависит от конкретных условий эксплуатации аэрирующего устройства, в том числе, от давления, создаваемого в полости 8 трубчатого воздуховода 1. Чем больше давление сжатого воздуха (то есть, чем больше глубина аэротенка), тем меньше количество ребер 2 и

соответствующих им углублений 3 требуется для обеспечения эффективной аэрации обрабатываемой жидкости.

В данном примере на наружной поверхности трубчатого воздуховода 1 выполнено шестнадцать ребер 2 и шестнадцать углублений 3, глубина которых составляет $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Ребра 2 выполнены на расстоянии, составляющем $0,026 \text{ м}$ друг от друга.

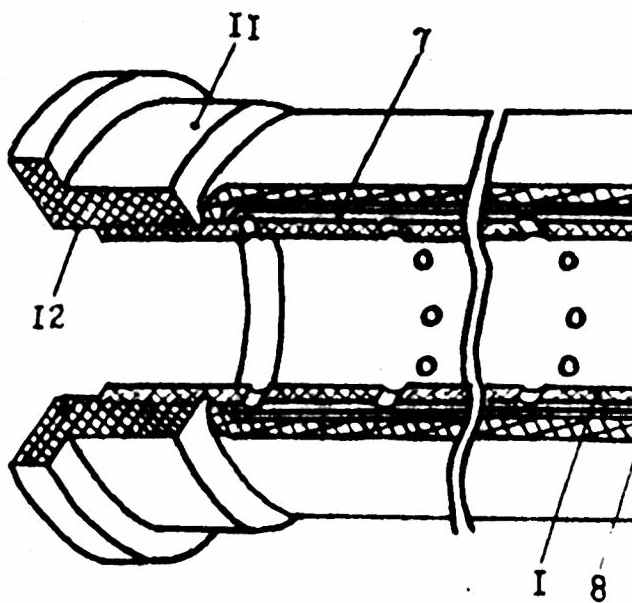
Фибрированная нить внутреннего слоя 5 диспергирующего покрытия 4 выполнена из полипропилена и навита без зазоров в два ряда на наружной поверхности трубчатого воздуховода 1 с поверхностной плотностью $1,35 \text{ кг/м}^2$.

Наружный слой 6 диспергирующего покрытия 4 выполнен из полиэтилена высокого давления, нанесенного на поверхность внутреннего слоя 5 методом пневмоэкструзии с плотностью $4,3 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$.

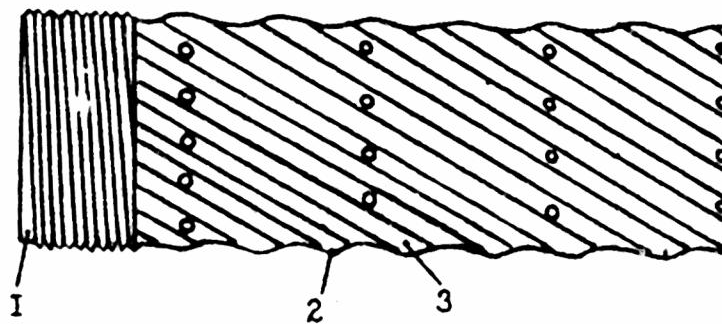
Диаметр каждого радиального отверстия 9 составляет $0,008 \text{ м}$, при этом указанные отверстия выполнены на расстоянии, составляющем $0,21 \text{ м}$ друг от друга.

Аэрирующее устройство работает следующим образом.

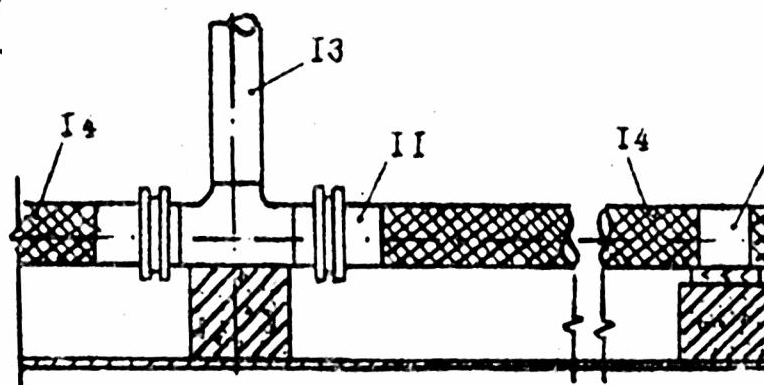
Сжатый воздух из воздуходувного агрегата по трубопроводу 13 через отверстия 12 в заглушке 11 подается в полость 8 трубчатого воздуховода 1. Этот воздух через радиальные отверстия 9 поступает в продольные каналы 7 и равномерно распределяется в углублениях 3, расположенных между ребрами 2. Под воздействием создаваемого давления сжатый воздух проникает через внутренний слой 5, а затем через наружный слой 6 диспергирующего покрытия 4 и в виде пузырьков поступает в аэрируемую жидкость, равномерно распределяясь в ней вдоль всей длины аэрирующего устройства. Глухая заглушка 10 препятствует выходу сжатого воздуха из полости 8 трубчатого воздуховода 1.



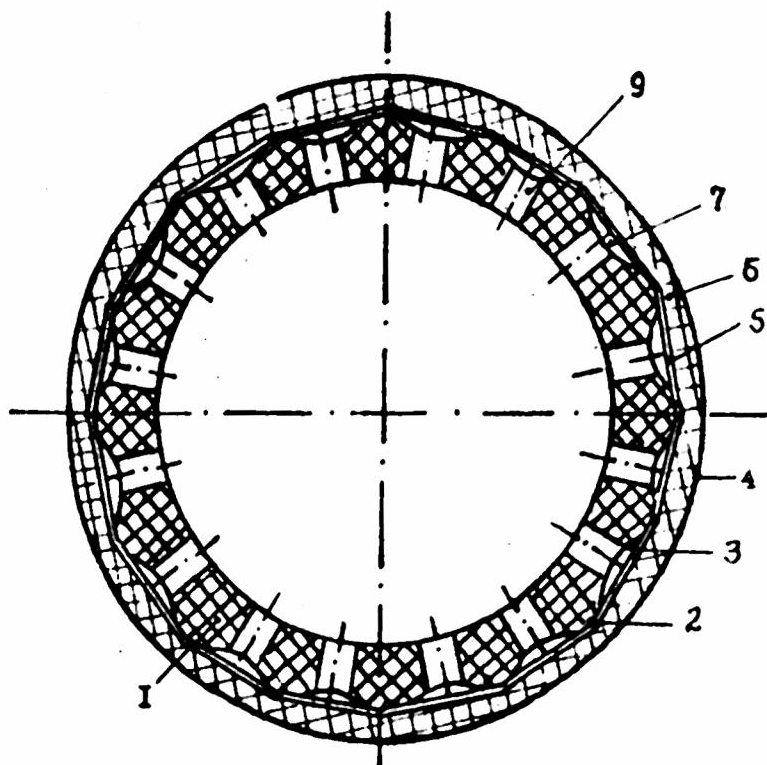
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 2