УДК 664:002.5; 664.02

Процессы потокового гидродинамического фильтрования

неоднородных жидких систем и оборудование для их реализации

*И. В. Севостьянов канд. техн. наук, доцент; E-mail:* [*ivansev70@mail.ru*](mailto:ivansev70@mail.ru)*; тел. (0432) 43 – 76 – 22; Винницкий национальный технический университет, г. Винница, 21030, Украина*

В статье приводится схема установки для потокового гидродинамического фильтрования неоднородных жидких систем. Представлены зависимости для определения периодического повышения давления и скорости в среде фильтруемой на установке системы, а также усилий, действующих на ее твердые частицы. С использованием данных зависимостей, на основании результатов расчетов, установлена высокая эффективность установки по сравнению с оборудованием для потокового фильтрования.

***Ключевые слова: потоковое гидродинамическое фильтрование, неоднородные жидкие системы.***

Processes of flow hydrodynamic filtering of

non-uniform liquid systems and the equipment for their realization

*I.Sevostyanov Cand. Tech. Sci., the senior lecturer; E-mail: ivansev70@mail.ru Tel. (0432) 43 - 76 - 22; Vinnitsa national technical university, Vinnitsa, 21030, Ukraine*

The scheme of installation for flow hydrodynamic filtering of non-uniform liquid systems, are presented in this article. Dependences for definition of periodic increase of pressure and speed in the environment of system, that filtered on installation, and also the efforts, that having effect on its firm particles, are presented. With use of the given dependences, on the basis of results of calculations, high efficiency of installation in comparison with the equipment for flow filtering is established.

***Keywords: flow hydrodynamic filtering, non-uniform liquid systems.***

Процессы разделения неоднородных жидких систем (НЖС) – суспензий, коллоидных растворов – являются одними из наиболее распространенных в химической промышленности [1]. В частности, к подобным процессам относятся очистка химических реактивов и солей, очистка сточных вод в производстве карбоновых кислот, косметики, уранового, целлюлозно-бумажного и нефтеперерабатывающего производства, очистка бромсодержащих сточных вод, возврат катализаторов и т. д. Известно достаточно много способов реализации указанных процессов, каждый из которых имеет свои недостатки [1, 2]. Так, отстаивание является малопроизводительным способом, центрифугирование – не обеспечивает достаточно высокой степени очистки НЖС, в процессе фильтрования происходит быстрое засорение фильтровального элемента твердыми частицами НЖС, физико-химические, химические и биологические способы осуществляются с использованием сложного громоздкого оборудования и дорогостоящих реактивов, а термические крекинг и выпаривание – слишком энергоемки.

Одним из наиболее эффективных известных способов разделения НЖС является способ потокового фильтрования через дисковые металлокерамические мембраны. На рис. 1 представлена фотография экспериментальной фильтрующей установки немецкой фирмы «Membraflow Filtersysteme» (MSD-сепаратора) для реализации данного способа. Установка содержит корпус с расположенными в нем двумя валами, на которых закреплены дисковые фильтровальные мембраны. В каждой мембране (рис. 2) выполнены радиальные каналы, сообщающиеся с осевыми отверстиями валов (рис. 3). Поток НЖС беспрерывно подается под давлением 0,2 МПа, со скоростью 2 м/с через корпус установки. Жидкая фаза НЖС вытесняется через поры в стенках мембраны, очищается, стекает по радиальным каналам мембран и далее по отверстиям в валах идет на слив. Твердые частицы задерживаются стенками мембран. Валы с мембранами непрерывно и равномерно вращаются в противоположные стороны, в результате чего на твердые частицы НЖС, оседающие на поверхности мембран, действуют центробежные силы. Последнее способствует уменьшению засорения мембран и увеличению по сравнению со статическим фильтрованием производительности рабочего процесса. Однако достаточно большими для предотвращения засорения центробежные силы будут только около периферии мембран, тогда как ближе к их оси величина данных сил стремится к нулю. К тому же, в каждой отдельно взятой точке на поверхности мембраны значение центробежной силы в процессе фильтрования является стабильным. Твердые частицы при таких достаточно статичных условиях будут со временем все же накапливаться на поверхностях мембран, что приведет к постепенному снижению производительности рабочего процесса и при использовании данного известного способа.

С учетом вышеизложенного, нами предлагается более эффективный способ потокового гидродинамического фильтрования НЖС через неподвижные дисковые мембраны (см. рис. 2), установленные во вращающемся корпусе с лопатками на внутренней поверхности, что обеспечивает, по сравнению с рассмотренным выше известным способом, более высокую и стабильную во времени производительность рабочего процесса, при меньших затратах энергии и соответствующем качестве фильтрования.

Схема установки для реализации предлагаемого способа показана на рис. 4. Установка содержит корпус 1 с закрепленными на его внутренней поверхности лопатками 2. Корпус 1 приводиться во вращение от планетарного мотор-редуктора 3 (при необходимости изменения скорости вращения корпуса в его приводе может использоваться коробка скоростей либо электродвигатель постоянного тока с регулятором частоты). Фильтровальные мембраны 5 неподвижно закреплены на четырех валах 6 (для увеличения производительности установки число валов с мембранами в корпусе может быть увеличено до восьми и более). Валы 6 жестко крепятся к нижней поверхности диска 10, верхний торец которого неподвижно соединяется с поперечиной 16 станины установки. Верхняя часть корпуса 1 центрируется по верхней ступени диска 10. Для предотвращения вытекания НЖС из корпуса 1, в зазоре между ним и диском 10 установлено уплотнительное кольцо 18.

НЖС с бака 19 беспрерывно подается насосом 12 по трубе 15 в корпус 1 и далее по трубе 17 назад в бак 19. С помощью кранов 13, 14 в среде НЖС, проходящей через корпус 1, создается необходимое для потокового фильтрования давление. Жидкая фаза НДС вытесняется через поры в стенках мембран 5, отфильтровывается и отводится по их радиальным каналам (см. также рис. 2), радиальным отверстиям 8 и осевым глухим каналам 7 валов 6, радиальным отверстиям 9 и центральному каналу 11 диска 10 в бак 4. В результате вращения корпуса 1 лопатки 2 создают в среде НЖС периодические волны повышенного давления, которые перемещаются от периферии к оси корпуса, взаимодействуют с противоположно направленными волнами, взаимно отражаются и движутся обратно к периферии корпуса. Таким образом, в среде НЖС беспрерывно и достаточно существенно по величине изменяется давление, кроме того, периодически увеличивается и уменьшается скорость ее потока. Все это способствует разрушению мельчайших структурных образований из твердых частиц НЖС на поверхностях мембран, уменьшению толщина слоя осадка на них, увеличению и стабилизации во времени производительности процесса фильтрования (в соответствии с данными [3], давление и скорость в среде обрабатываемого материала являются основными параметрами, от которых в наибольшей степени зависит производительность фильтрования).

Для доказательства эффективности предлагаемого способа рассчитаем величины приращения давления *Δрп.г* и скорости *Δvп.г* в среде НЖС при его реализации, а также сравним усилия, действующие на твердые частицы НЖС на поверхностях мембран в процессе потокового – *Fп* и потокового гидродинамического – *Fп.г* фильтрования.

Приращения давления *Δрп.г* определяем как

 (1)

где *Fо* – окружная сила, создаваемая на лопатках 2 приводом установки; *Sл, пл* – площадь поперечного сечения лопатки 2 и число лопаток.

Силу *Fо* определяем, исходя из вращающего момента *Мк* на корпусе 1 (см. рис. 4) и среднего диаметра *D* закрепления лопаток 2 в корпусе, по формуле

 (2)

В свою очередь, *Мк* можно рассчитать в зависимости от мощности *Nд* на валу электродвигателя планетарного мотор-редуктора 3, частоты *пк* вращения корпуса 1 (соответствует частоте вращения выходного вала редуктора) и КПД редуктора – *ηр*. При этом используем формулу [4]

 (3)

Площадь *Sл* можно найти как произведение длины *l* и ширины *b* лопатки (см. рис. 4).

Увеличение скорости *Δvп.г* потока НЖС в поперечном сечении корпуса 1 равняется окружной скорости *vл* точки поверхности лопатки, находящейся на окружности диаметром *D* [4]

 (4)

Величину *Δрп.г* можно также определить по формуле Жуковского [5]



где *ρс* – плотность НЖС; *с* – скорость распространения в ней волны повышенного давления, определяемая по формуле [5]



в которой *Кс*, *Кк* – модули объемной упругости НЖС и материала корпуса 1 [5]; *Dк*, *δк* – внутренний диаметр и толщина стенок корпуса.

Максимальное значение центробежной силы *Fп*, действующей на твердые частицы НЖС на поверхностях мембран в процессе потокового фильтрования можно рассчитать по формуле [6]

 (5)

где *тт* – масса средней по размерам твердой частицы НЖС (определяется методом ситового анализа); *vм* – окружная скорость вращения периферии мембраны; *Rм* – радиус мембраны.

С учетом того, что  (здесь *Dм* – диаметр мембраны, а *пм* – частота ее вращения), формула (5) может быть преобразована к виду

 (6)

Усилие *Fп.г*, создаваемое на твердых частицах НЖС в процессе потокового гидродинамического фильтрования определяем как

 (7)

С использованием формул (1 – 7) рассчитаем основные рабочие параметры исследуемых процессов для следующих исходных данных (см. выше): *l* = 0,652 м; *b* = 0,005 м; *пл* = 4; *D* = 0,651 м; *Rм* = 0,1 м; *Nд* = 1,5 кВт; *пк*= 63 мин-1; *ηр* = 0,94 (для планетарного мотор-редуктора МП02-26 [4]); *пм*= 80 мин-1; *тт* = 2,1·10-9 кг (для бромсодержащих сточных вод).

Вращающий момент на корпусе предлагаемой установки, рассчитываем по формуле (3)



Значение окружной силы в процессе потокового гидродинамического фильтрования при вычислении ее по формуле (2), составит



Тогда приращения давления, в соответствии с формулой (1)



что составляет 25,5% от номинального постоянного давления *рп* = 0,2 МПа в корпусе, рекомендованного фирмой «Membraflow Filtersysteme».

Приращение скорости потока НЖС в поперечном сечении корпуса по формуле (4) равно



что на 110% превышает постоянную скорость *vп* = 2 м/с, с которой поток НЖС проходит через корпус установки. Последнее, в свою очередь, позволяет уменьшить до минимума подачу *Qн.ц* циркуляционного насоса 12, ограничив ее величиной, необходимой для создания в корпусе 1 заданного постоянного давления *рп*, а также для обеспечения прохождения через него всего объема фильтруемой НЖС. Уменьшение *Qн.ц* дает возможность снизить мощность электродвигателя привода насоса 12, а следовательно и обеспечить, по сравнению со способом потокового фильтрования, существенную экономию электроэнергии. Кроме того, в приводе корпуса предлагаемой установки используется один достаточно маломощный (1,5 кВт) электродвигатель, тогда как в промышленных установках «Membraflow Filtersysteme» каждый вал с мембранами (число валов в установке может достигать восьми и более) приводиться от отдельного электродвигателя.

Максимальное усилие, действующее на твердые частицы НЖС в процессе потокового фильтрования в соответствии с формулой (6) равняется



Аналогичное усилие в процессе потокового гидродинамического фильтрования (см. формулу (7)) составляет



что на 14 порядков больше *Fп*.

Рассчитанные периодические увеличения *Fп.г*, *Δрп.г*, *vп.г* повторяются с частотой



что обеспечивает достаточно интенсивную нагрузку фильтруемой НЖС. При этом частоту *f* при необходимости можно достаточно просто повысить, путем увеличения числа *пл* лопаток.

Еще один параметр эффективности рассматриваемых процессов –высокое качество фильтрации НЖС в предлагаемой установке, будет гарантировано обеспечен при использовании в ней промышленных мембран соответствующего назначения производства западных фирм “Membraflow filtersysteme” (см. рис. 2), “Aaflow systems”, “Tami”, «Della Toffola» и др.

С учетом всего вышеизложенного, высокую эффективность предлагаемого способа потокового гидродинамического фильтрования НЖС и оборудования для его реализации, можно считать теоретически- и расчетно-обоснованною.

Выводы

1. Известные способы разделения НЖС имеют достаточно существенные недостатки, что в большинстве случаев снижает эффективность их применения на практике.

2. В связи с этим, для осуществления указанных процессов нами предлагается способ потокового гидродинамического фильтрования на установке оригинальной конструкции с неподвижными дисковыми керамическими фильтровальными мембранами и вращающимся вокруг них лопастным корпусом, что обеспечивает в соответствии с расчетами, по сравнению с известным способом потокового фильтрования, периодические повышения в среде НЖС давления (на 25,5%), скорости перемещения среды (на 110%) и усилий, действующих на ее твердые частицы (на 14 порядков). Все это способствует увеличению производительности рабочего процесса, при меньших затратах энергии и высоком качестве фильтрации НЖС.

3. Высокая эффективность предлагаемых способа и оборудования обуславливается созданием в НЖС при их использовании периодических волн повышенных давления и скорости, что приводит к разрушению структурных образований из твердых частиц НЖС на поверхностях фильтрующих мембран, уменьшения толщины слоя осадка на них, засорения мембран, увеличению и стабилизации производительности рабочего процесса.

4. Приведенные в статье формулы позволяют определять основные рабочие параметры процессов потокового гидродинамического фильтрования НЖС, от которых в наибольшей степени зависит их эффективность.

Литература

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

2. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 464 с.

3. Техническое руководство по трубчатым керамическим мембранам INSIDE CéRAM. Document B. BL. Handbuch Ru, 2004. – Rev. 23. – 36 c.

4. Анфимов М. И. Редукторы. Конструкции и расчет. – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.

5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы/ Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

6. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики. – Киев: Наук. думка, 1989. – 864 с.

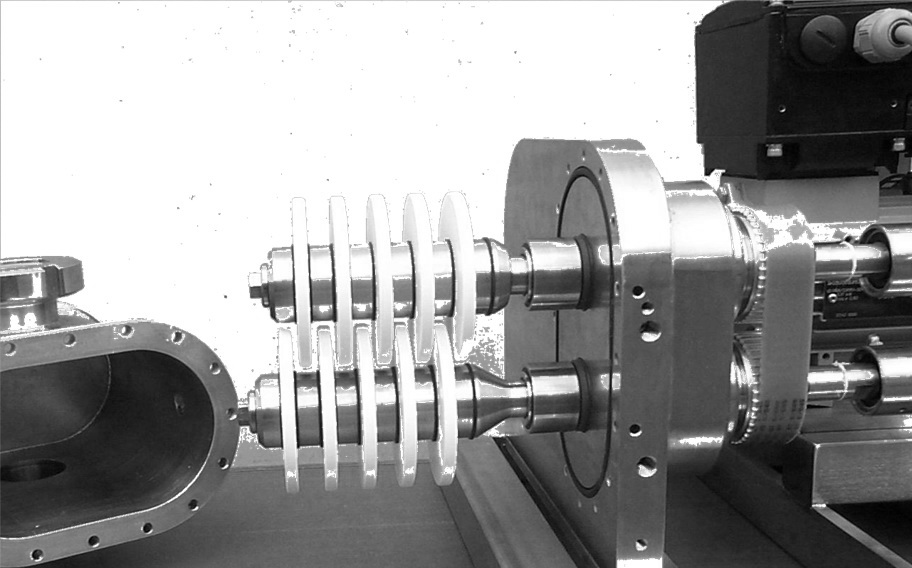


Рис. 1. Фотография экспериментальной установки фирмы «Membraflow Filtersysteme» для потокового фильтрования НЖС

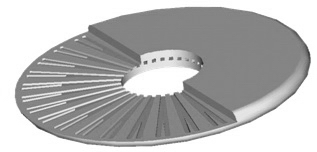


Рис. 2. Дисковая металлокерамическая фильтровальная мембрана фирмы «Membraflow Filtersysteme»

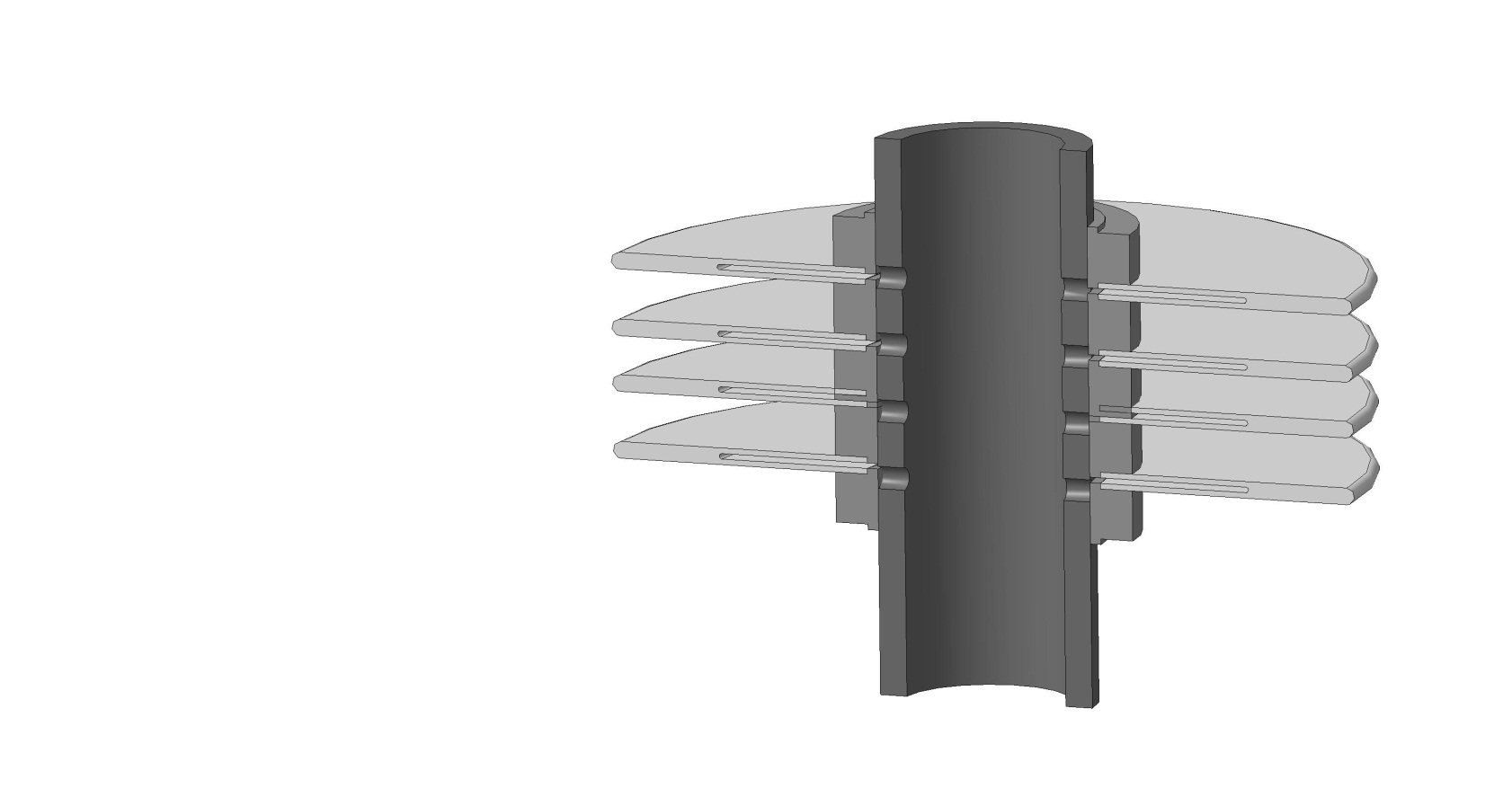


Рис. 3. Узел крепления фильтровальных мембран

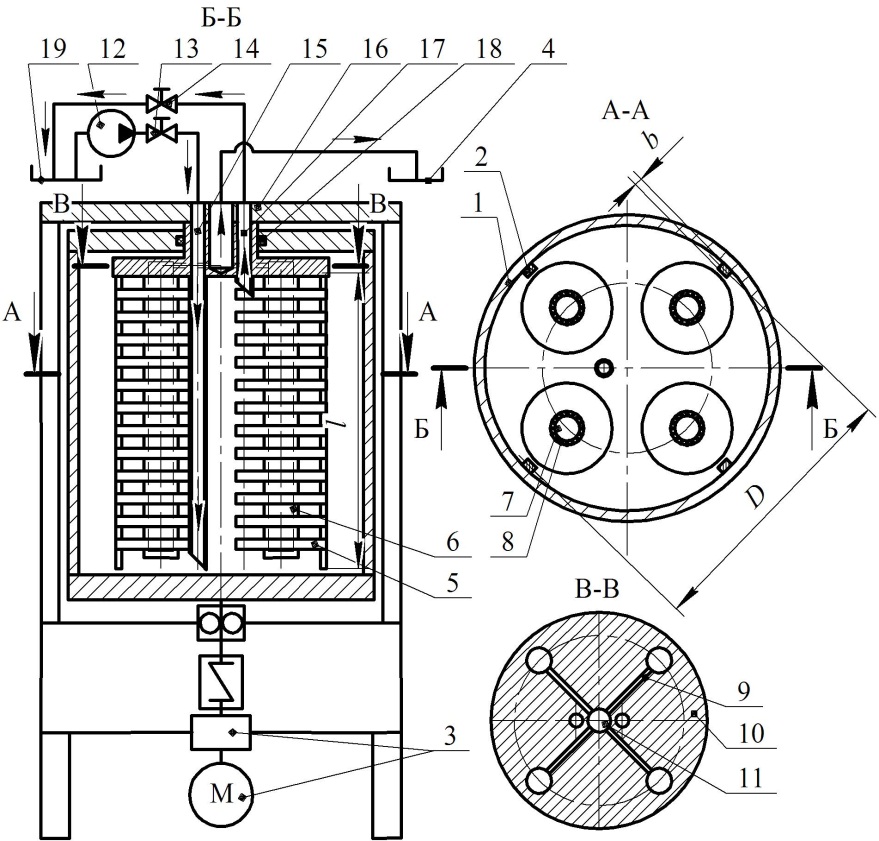


Рис. 4. Схема предлагаемой установки для потокового гидродинамического фильтрования НЖС