

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ В ВОДОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

О.Д. Примак, Ю.Л. Сколубович, Н.Н. Федорова

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113

Взвешенные (кипящие) слои нашли широкое применение в химической, горнодобывающей, пищевой промышленности и других областях. Под влиянием восходящего газового или жидкостного потока слой зернистого материала превращается в систему, в которой твердые частицы находятся во взвешенном состоянии, образуя псевдооживленный слой, который по свойствам похож на кипящую жидкость [1].

Исследование процесса фильтрации воды во взвешенном слое загрузки было выполнено для модельной установки реактора-осветлителя, схема установки показана на рисунке 1, где стрелками указано движение воды.

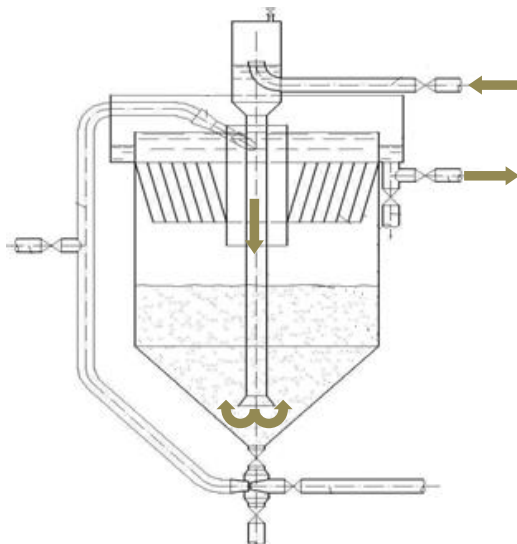


Рис. 1 Схема реактора осветлителя

Принцип работы реактора-осветлителя заключается в подаче воды по опускающей распределительной трубе, которая равномерно распределяется по площади осветления устройства. Затем вода проходит снизу вверх через слой контактной массы со скоростью, обеспечивающей ее взвешивание. Далее осветленная вода собирается желобом и выводится.

При движении воды через слой загрузки происходит взвешивание контактной массы. При осветлении воды рабочая скорость восходящего потока подбирается таким образом, чтобы контактная масса оставалась во взвешенном состоянии. Основная часть расширенной загрузки, представляет собой фильтрующую среду. В верхнем слое (10% от всего слоя загрузки) мелкие частицы находятся в состоянии хаотичного движения. [2] В качестве контактной массы используется кварцевый песок или другой зернистый материал.

© О.Д. Примак, Ю.Л. Сколубович, Н.Н. Федорова, 2017

Взвешенный слой фильтрующей загрузки находится под действием двух противоположно направленных сил, направленной вертикально вниз и равной массе загрузки в воде, сила тяжести и давления восходящего потока воды P , направленного в верх. На рисунке 2 показаны варианты поведения загрузки.

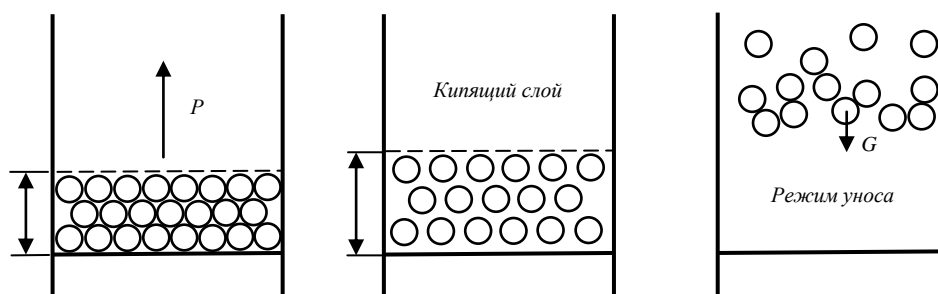


Рис. 2. Псевдооживление (кипящий слой).

Недостатком неподвижного взвешенного слоя является возможное образование застойных зон, существенно снижающих производительность реактора. Поэтому на этапе проектирования необходимо выполнить оценку структуры течения и выбрать параметры течения, обеспечивающие наибольшую производительность. С этой целью используют экспериментальные и расчетные методы.

В настоящей работе исследование поведения реактора-осветлителя выполнено численно в программном комплексе ANSYS [3]. Моделирование кипящего слоя песка выполнено для осесимметричной 2D модели, включающей две фазы (вода, песок). В качестве основных уравнений использованы нестационарные осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, дополненные стандартной $k-\varepsilon$ моделью турбулентности. Для описания движения фаз использована Эйлера модель - наиболее полная и сложная модель многофазности, реализованная в ANSYS Fluent. Все фазы имеют общее давление, но для каждой фазы решаются свои уравнения неразрывности и импульсов. Взаимодействие фаз учитывается через давление и коэффициенты межфазного обмена [4].

Геометрическая модель и сетка были построены в ANSYS Workbench (рис. 3). На входной границе (*inlet*) была задана скорость потока $U = 8.5$ м/час, на выходной (*outlet*) - давление окружающей среды (1 атм). На твердых стенках заданы условия прилипания. Слой загрузки образован частицами размером 0.6 мм и плотностью материала частиц 1920 кг/м³. В начальный момент слой загрузки имел высоту $h=100$ мм и пористость 0.643.

Целью моделирования является получение псевдостационарного режима, когда частички загрузки не выносятся с водой из реактора-осветлителя и не осаждаются на дне. В результате численных исследований получено, что под действием восходящего потока жидкости слой загрузки «вспухает», образуя кипящий слой. На рис 3 показан результат расчета для указанных выше параметров. Более темный слой соответствует меньшей концентрации частиц загрузки. Видно, что начальная толщина слоя увеличилась примерно в два раза. Таким образом, при данных параметрах реализуется режим псевдооживления.

Также была проведена серия расчетов для установки реального размера с начальной высотой слоя загрузки 1 м, начальной объемной концентрации частиц 0.55 при изменении скорости входного потока U и размера частиц фильтрующей загрузки. В результате проделанной работы удалось установить оптимальную скорость течения жидкости через

слой взвешенной загрузки для конкретных размеров зерен загрузки. При этом увеличение толщины слоя загрузки не превышало 15%, что соответствует условиям оптимальной работы установки [2]. Полученные результаты приведены в таблице 1. Эти результаты показывают, что методы математического моделирования могут быть использованы при проектировании установок различного масштаба, предназначенных для очистки воды.

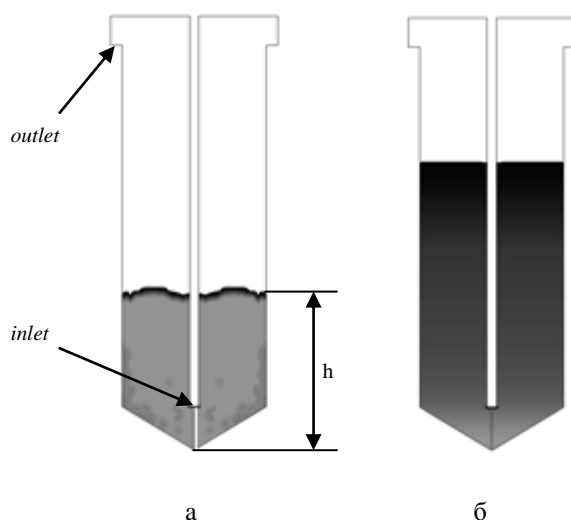


Рис 3. Объемная концентрация материала загрузки на начальный (а) и конечный (б) момент времени.

Таблица 1. Скорость фильтрации для различных диаметров частиц слоя загрузки.

| D, мм | U, м/ч |
|-------|--------|
| 0,3 | 7,9 |
| 0,6 | 8,8 |
| 1 | 9,9 |
| 1,2 | 10,7 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дэвидсон Дж., Харрисон Д. Псевдооживление: Пер. с англ. - М.: Химия, 1974. - 725 с.
2. Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением: монография /; Новосиб. Гос. Архитектур.-строит. Ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. –216 с.
3. ANSYS Customer number 531496.
4. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Захарова Ю.В., Моделирование гидродинамических процессов в ПК ANSYS 17.0 :учеб. пособие; Новосиб. Гос. Архитектур.-строит. Ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2016. –168 с.