

УДК 628.334.5.336.43

**Урмитова Н.С.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [urmitova@mail.ru](mailto:urmitova@mail.ru)

**Абитов Р.Н.** – кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: [a\\_runar@mail.ru](mailto:a_runar@mail.ru)

**Хисамеева Л.Р.** – доцент

E-mail: [Khisameeva\\_Liliya@mail.ru](mailto:Khisameeva_Liliya@mail.ru)

**Низамова А.Х.** – старший преподаватель

E-mail: [Anizamova@mail.ru](mailto:Anizamova@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно - строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Изучение режимов фильтрации при изменении гидравлических и гидродинамических характеристик коалесцирующих загрузок**

#### **Аннотация**

В данной статье экспериментально поставлены и решены задачи изучения гидравлических, гидродинамических и режимных характеристик коалесцирующих насадок.

Для загрузки фракции 3-5 мм с увеличением числа Рейнольдса, температура воды, коэффициент гидравлического сопротивления уменьшаются; при достижении  $Re=28$ , независимо от температуры воды, коэффициент гидравлического сопротивления становится постоянным, т.е. наступает автомодельная область. Для фракции 15-20 мм увеличивается  $Re$ , коэффициент гидравлического сопротивления колеблется, то увеличивается, то уменьшается. При достижении  $Re\sim 250-350$  коэффициент гидравлического сопротивления более или менее выравнивается.

**Ключевые слова:** гидравлические и гидродинамические характеристики, коалесцирующая загрузка, режим фильтрации, экспериментальные исследования, фракция, число Рейнольдса.

Для данного эксперимента были специально изготовлены гранулированные коалесцирующие загрузки из полиэтилена (ПЭ) фракции 3-5 мм; керамического заполнителя, покрытого полиэтиленом (КЗСППЭ) фракции 15-20 мм. При исследованиях меняли температуру среды, а также гидравлические и гидродинамические характеристики коалесцирующих загрузок. ПЭ и КЗСППЭ мало отличаются по своим адгезионным свойствам. Краевой угол смачивания у полиэтилена  $14^{\circ}54'$ , а у керамического заполнителя, покрытого полиэтилена  $16^{\circ}3'$  [1-8].

До исследований был собран большой фактический материал, в которых предлагалась высота коалесцирующей загрузки от 0,2 до 2 м, а наилучшие результаты были получены при высоте загрузки от 0,2 до 0,8 м. Исходя из этого, согласно анализа собранного фактического материала к исследованию были приняты следующие схемы и высоты коалесцирующих насадок: для ПЭ фракции 3-5 мм и для КЗСППЭ фракции 15-20 мм по четыре схеме загрузки коалесцирующей насадки высотой от 0,2 до 0,8 м.

Исходя из анализа литературных данных, в исследованиях также приняты скорости фильтрации в пределах от 5 м/ч до 135 м/ч.

В некоторых случаях нефтесодержащие сточные воды (в частности, нефтепромысловые) имеют температуру 10-60 °С, в основном преобладает температура 30-40 °С.

К исследованию принята температура исходной воды в пределах от 20 до 50 °С с интервалом около 10 °С.

Экспериментальная установка для исследования (рис. 1) состоит из следующих элементов: напорного коалесцирующего фильтра 1, центробежного насоса 2, емкости исходной жидкости 3 с подогревающими устройствами, воздухоотводчика 4, фильтра-кондиционера 5, пьезометра 6, манометра 7, линий отбора импульса давления 8, успокоителя 9, термометра 10, трубопровода подачи воды из водопровода 11, линии отвода воды в канализацию 12, обводной линии 13.

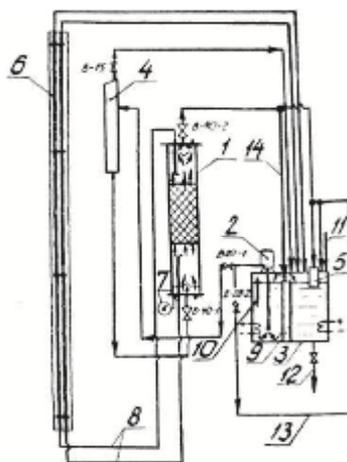


Рис. 1

Коалесцирующий фильтр изготовлен из трубы внутренним диаметром 207 мм, высотой 1,6 м; закрыт фланцами. Для исключения пристеночного эффекта на внутренней поверхности корпуса фильтра создана искусственная шероховатость. Коалесцирующая загрузка фиксируется сетками; предусмотрена возможность регулирования высоты загрузки. На входе и выходе из фильтра установлены отражатели для повышения равномерности распределения потока по сечению.

Фильтр-кондиционер изготовлен из стальной трубы, загрузкой служит техническая вата. Перед началом опытов фильтр загружается коалесцирующим материалом. При проведении опытов исходная вода подается на фильтр снизу вверх по следующей технологической схеме: емкость-насос-воздухоотводчик-фильтр-емкость.

Порядок проведения опытов следующий:

а) промывка всех коммуникаций и оборудования установки с одновременным вытеснением воздуха из загрузки фильтра и коммуникаций. Для этого емкость 3 заполняется водопроводной водой открыванием вентиля из трубопровода 11; пускается насос 2 на подачу воды в коалесцирующий фильтр по схеме: открываем вентили В-20-1, В-15, далее воздухоотводчик 4, открываем вентили В-40-1, В-40-2, далее через фильтр-кондиционер 5 вода поступает и в емкость 3. Промывка производится максимальной интенсивностью до полного удаления воздуха из фильтра, импульсных линий 8, пьезометра 6. В случае загрязнения исходной воды, ее необходимо кондиционировать фильтрованием по схеме: емкость 3, насос 2, вентиль В-20-2, трубопровод 13, фильтр-кондиционер 5, емкость 3;

б) установка программной скорости фильтрования: прикрывается вентиль В-15 до слабого постоянного истечения воды с целью непрерывного отвода воздуха из нее. Далее, регулируя вентилями В-20-1, В-40-1, В-40-2, устанавливается программная скорость фильтрования (с расходом фильтрата, соответствующим заданной скорости фильтрации);

в) производится стабилизация режима фильтрации в течение 20-30 мин. по схеме: емкость-насос-воздухоотводчик-коалесцирующий фильтр-успокоитель-емкость;

г) фиксируются потери напора в коалесцирующей загрузке, одновременно измеряется расход фильтра объемным способом. Для этого конец шланга 14 перемещается в измерительную емкость и по секундомеру фиксируется время ее заполнения.

В ходе опыта измеряются: температура воды – ртутным термометром с ценой деления 0,1 °С; время – секундомером; потери напора в загрузке – пьезометром в мм вод.ст.; расходы – объемным способом, л/с; скорость фильтрации  $V_{\phi}$  при расходе  $Q$  и площади фильтра  $F$  по формуле:  $V_{\phi} = Q/F$ , м/ч.

Остановка установки: закрываются вентили В-40-1, В-20-1, выключается насос, закрываются вентили В-40-2, В-15.

На рис. 2-3 представлены зависимости  $h = f(V_{\phi})$  для температур воды 20, 30, 40 и 50 °С и высот загрузки 0,4 и 0,6 м фракций 3-5 мм и 15-20 мм. Для других высот загрузки (0,2 и 0,8 м) характер зависимости  $h = f(V_{\phi})$  аналогичен.

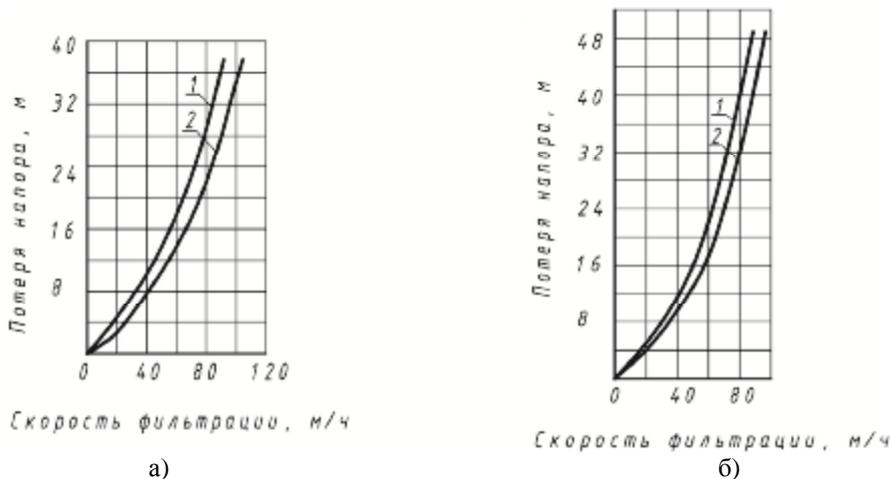


Рис. 2. Зависимость  $h = f(V_{\phi})$ ; фракция 3-5 мм; а – для  $H = 0,4$  м; б – для  $H = 0,6$  м; при температурах: 1– $t_b = 20$  °С, 2– $t_b = 50$  °С

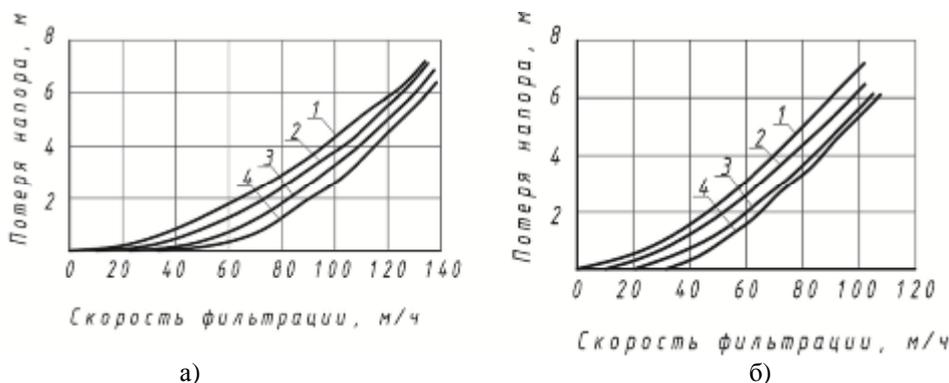


Рис. 3. Зависимость  $h = f(V_{\phi})$  фракции 15-20 мм: а – для  $H = 0,4$  м; б – для  $H = 0,6$  м; при температурах: 1– $t_b = 20$  °С, 2– $t_b = 30$  °С, 3– $t_b = 40$  °С, 4– $t_b = 50$  °С

Из графиков видно, что потери напора в чистой загрузке увеличиваются с увеличением скорости и уменьшением крупности зерен загрузки; с увеличением температуры потери напора уменьшаются. Экспериментально найденная зависимость гидравлического уклона от скорости фильтрации представляет собой кривую, которая может быть аппроксимирована формулой:

$$I = C V_{\phi} + \alpha V_{\phi}^2.$$

На рис. 4 представлены зависимости  $I = f(V_{\phi})$  для температур жидкости 20, 30, 40 и 50 °С, соответствующие высоте загрузки  $H = 0,2$  м и фракции 15-20 мм. Для других высот загрузок, а именно 0,8; 0,6; 0,4 м, а также для фракции 3-5 мм зависимости гидравлического уклона от скорости фильтрации аналогичны. На всех графиках увеличение температуры ведет к уменьшению гидравлического уклона. Параметры  $C$  и  $\alpha$ , найденные из экспериментальных кривых  $I = f(V_{\phi})$ , уменьшаются с ростом температуры. Для иллюстрации в таблице представлены значения параметров  $C$  и  $\alpha$ , определенные для высоты загрузки  $H = 0,8$  м при температурах 20 и 50 °С для фракции 15-20 мм и 3-5 мм.

Таблица

Фракция, мм	Температура, °С	$C \cdot 10^4$ , ч/м	$\alpha \cdot 10^6$ ч <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>
15-20	20	2,0	7,4
15-20	50	0,6	1,0
3-5	20	47,0	78,0
3-5	50	16,0	13,0

С ростом температуры увеличивается скорость фильтрации, соответствующая первой экспериментальной точке (рис. 4). Очевидно, объяснить такое положение можно тем, что с увеличением температуры уменьшается вязкость жидкости, и тем самым уменьшаются потери напора и гидравлический уклон.

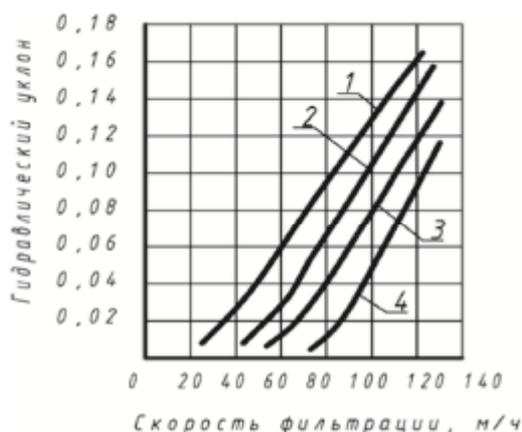


Рис. 4. Зависимость  $I = f(V_{\phi})$  для фракции 15-20 мм при  $H=0,2$  м и температуре жидкости: 1– $t_b = 20$  °C, 2– $t_b = 30$  °C, 3– $t_b = 40$  °C, 4– $t_b = 50$  °C

На рисунке 5 представлено влияние размера зерен загрузки на зависимость гидравлического уклона от скорости фильтрации, где видно, что гидравлический уклон сильно зависит от диаметра зерен, т.е. с увеличением диаметра в 4,35 раза уменьшается гидравлический уклон примерно на целый порядок.

При фракции коалесцирующей загрузки 3-5 мм высота насадки на гидравлический уклон не влияет. Для крупной фракции 15-20 мм обнаружена следующая закономерность. Кривые зависимости гидравлического уклона от скорости фильтрации с уменьшением высоты загрузки делаются более крутыми. Для меньших высот слоя загрузки гидравлический уклон при увеличении скорости фильтрации растет быстрее, чем для больших высот загрузки [1].



Рис. 5. Влияние размера зерен на зависимость  $I = f(V_{\phi})$  для  $H = 0,8$  м:  
1 – фракция 3-5 мм  $t_b = 20$  °C, 2 – фракция 3-5 мм  $t_b = 50$  °C,  
3 – фракция 15-20 мм  $t_b = 20$  °C, 4 – фракция 15-20 мм  $t_b = 50$  °C

На основании экспериментальных данных и расчетами по методике получены: среднеарифметическое значение удельной поверхности зерен для фракции 15-20 мм составляет  $512 \text{ м}^{-1}$  отклонение от среднего значения не превышает 25 %. Та же величина для фракции 3-5 мм оказалась равной  $1218 \text{ м}^{-1}$  с максимальным отклонением от среднего значения, равным 20 %.

Коэффициент формы, подсчитанный по среднеарифметическому значению удельной поверхности, оказался равным 3,24 для фракции 15-20 мм; а для фракции 3-5 мм составил 1,32.

При принятой относительной точности не менее  $\delta = 15\%$  согласно расчетные значения критического числа Рейнольдса составляют: для фракции 15-20 мм при  $\delta = 0,15$ ,  $Re_{кр} = 3,85$ ;  $\delta = 0,20$ ,  $Re_{кр} = 5,48$ ; для фракции 3-5 мм, соответственно,  $Re_{кр} = 3,45$  и  $Re_{кр} = 4,88$ .

Для загрузки фракции 3-5 мм с увеличением числа Рейнольдса, температура воды, коэффициент гидравлического сопротивления уменьшаются; при достижении  $Re = 28$ , независимо от температуры воды, коэффициент гидравлического сопротивления становится постоянным, т.е. наступает автомодельная область.

Для фракции 15-20 мм с увеличением  $Re$  коэффициент гидравлического сопротивления колеблется, то увеличиваясь, то уменьшаясь. При достижении  $Re \sim 250-350$  коэффициент гидравлического сопротивления более или менее выравнивается.

Согласно анализа результатов исследований можно сделать следующие выводы: что область действия линейного закона фильтрации при высоте загрузки коалесцирующей насадке из ПЭ фракции 3-5 мм, температурах нефтесодержащих сточной воды 20-50 °С наблюдается при скорости фильтрации 20-26 м/ч, а для КЗСПЭ фракции 15-20 мм до 50-60 м/ч. При этом переходная область почти незаметно. Для ПЭ фракции 3-5 мм наблюдается незаметная переходная область при скоростях фильтрации до 70-80 м/ч, а для КЗСПЭ фракции 15-20 мм до 80-90 м/ч.

Опытные данные могут быть использованы при разработке и проектирования установок очистки нефтесодержащих сточных вод с гидроциклонами и коалесцирующими насадками.

### Список библиографических ссылок

1. Урмитова Н.С., Фаткуллин Р.Г., Адельшин А.Б., Движение вязкости жидкости в порах гранулированной коалесцирующей насадки. Исследование сетей, аппаратов и сооружений водоснабжения и канализации: Межвуз. сб. науч. трудов. – Казань. 1990. – С. 25-32.
2. Урмитова Н.С., Абитов Р.Н., Хисамеева Л.Р., Низамова А.Х. Оценка сил, способствующих разрушению частиц нефти в коалесцирующей насадке // Известия КГАСУ, 2015, № 2 (32). – С. 226-230.
3. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Использование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Монография. – Казань: КГАСУ, 1997. – 249 с.
4. Урмитова Н.С. Интенсификация процессов очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения гранулированных коалесцирующих материалов. Дис...канд.техн. наук. – Казань: КИСИ, 1993. – 252 с.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков: Монография. – Казань: КГАСУ, 2011. – 245 с.
6. Урмитова Н.С., Адельшин А.Б., Адельшин А.А. Структура фильтрационного потока и механизм процесса коалесценции в гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой // Известия КГАСУ, 2014, № 2 (28). – С. 149-159.
7. Урмитова Н.С., Адельшин А.Б., Фаткуллин Р.Т. Исследование вихря вязкости жидкости в порах гранулированной коалесцирующей насадки при нелинейном законе сопротивления. Межвузовский сборник научных трудов: «Гидромеханика отопительно – вентиляционных устройств». – Казань: КИСИ, 1991 – С. 67-72.
8. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Установки очисток нефтепромысловых сточных вод на основе применении закрученных потоков. Монография. – Казань: КГАСУ, 2012. – 91 с.

**Urmitova N.S.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [urmitova@mail.ru](mailto:urmitova@mail.ru)

**Abitov R.N.** – candidate of pedagogic sciences, associate professor

E-mail: [a\\_runar@mail.ru](mailto:a_runar@mail.ru)

**Khisameeva L.R.** – associate professor

E-mail: [Khisameeva\\_Liliya@mail.ru](mailto:Khisameeva_Liliya@mail.ru)

**Nizamova A.Kh.** – senior lecturer

E-mail: [Anizamova@mail.ru](mailto:Anizamova@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **Investigation of filtering regimes by changing the hydraulic and hydrodynamic characteristics of coalescing loading**

#### **Resume**

In this paper the problem of studying hydraulic, hydrodynamic and regime characteristics of coalescing nozzles was experimentally solved. When fractions of coalesced loading are 3-5 mm the nozzle height does not affect on a hydraulic gradient. For a large fraction (15-20 mm) the following dependence is observed: the curves of hydraulic gradient depended on filtration rate become steeper with decreasing of loading height. In smaller layers of loading height the hydraulic gradient grows faster than for larger ones with increasing of filtration rate.

Average values of specific grain surface were obtained based on calculations and experimental data. For 15-20 mm fraction the value is  $512 \text{ m}^{-1}$  and for 3-5 mm fraction it is  $1218$  is  $3,5 \text{ m}^{-1}$ .

For loading fraction 3-5 mm the water temperature and coefficient of hydraulic resistance decrease with increasing Reynolds number (Re). When the value of Re reaches 28 the coefficient of hydraulic resistance becomes constant regardless of water temperature, i.e. the self-modeling region. For fraction 15-20 mm Re increases and coefficient of hydraulic resistance fluctuates. For  $\text{Re} \sim 250-350$  coefficient of hydraulic resistance is more or less equalized.

**Keywords:** hydraulic and hydrodynamic characteristics, coalescing loading, filtering regime, experimental investigations, fraction, the Reynolds number.

#### **Reference list**

1. Urmitova N.S., Fatkullin R.G., Adelshin A.B. Motion of a viscous fluid in the pores of the granular coalescing nozzle. Networks, devices and structures of water supply and sanitation research // Interuniversity proc. – Kazan: KIEC, 1990 – P. 25-32.
2. Urmitova N.S., Abitov R.N., Khisameeva L.R., Nizamova A.Kh. Evaluation of the forces contributing to the oil particle destruction in a coalescing nozzle // Izvestiya KGASU, 2015, № 2 (32). – P. 226-230.
3. Adelshin A.B., Urmitova N.S. Using of a hydrodynamic nozzle with a coarse load for oily wastewater treatment intensification. Monograph. Kazan: KGASU, 1997. – 249 p.
4. Urmitova N.S. Intensification of oily wastewater treatment by applying granular coalescing materials. Candidate of Engineering Sciences Thesis. – Kazan: KIEC, 1993. – 252 p.
5. Adelshin A.A., Adelshin A.B., Urmitova N.S. Hydrodynamic cleaning of oilfield wastewater by applying swirling flows. Monograph. – Kazan: KGASU, 2011. – 245 p.
6. Urmitova N.S., Adelshin A.B., Adelshin A.A. Structure of filtration flow and mechanism of coalescence process in hydrodynamic nozzles with coarse grained loading // Izvestiya KGASU, 2014, № 2 (28). – P. 149-159.
7. Urmitova N.S., Adelshin A.B., Fatkullin R.G. Investigation of viscosity motion of liquid into the pores of the granular coalescing nozzle with a nonlinear resistance law // Interuniversity collection of scientific papers: «Hydromechanics boiler and ventilation devices». – Kazan: KIEC, 1991. – P. 67-72.
8. Adelshin A.A., Adelshin A.B., Urmitova N.S. Oilfield wastewater treatment facilities based on the swirling flows' application. Monograph. – Kazan: KGASU, 2012. – 91 p.