УДК 628.32:665.6

Дегтярева Анастасия Дмитриевна, магистрант
(ДВФУ, г. Владивосток)
Коробейников Илья Алексеевич, магистрант
(ДВФУ, г. Владивосток)
Шут Михаил Сергеевич, выпускник бакалавриата
(ДВФУ, г. Владивосток)
Anastasia D. Degtyareva, Master's student
(FEFU, Vladivostok)
Ilya A. Korobeinikov, Master's student
(FEFU, Vladivostok)
Mikhail S. Shut, bachelor's degree graduate
(FEFU, Vladivostok)

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НЕФТЯНЫХ КАПЕЛЬ НА РАСЧЕТНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД

EFFECT OF OIL DROPLET SIZE ON THE ESTIMATED EFFICIENCY OF OILY WATER TREATMENT

Аннотация. Сравнили два модельных состава капель для одной нефтеловушки. При расходе 100 м³/ч и площади 100 м² расчётная доля уловленной нефти составила 27,32% для мелкого состава и 59,75% для крупного. Проверили влияние площади и вязкости воды.

Abstract. Two model droplet size distributions were compared for the same gravity separator. At 100 m³/h and 100 m², the predicted oil capture was 27.32% for the finer mixture and 59.75% for the coarser one. Surface area and water viscosity were also varied.

Постановка задачи

Результат работы нефтеловушки зависит от того, в каком виде нефть поступает с водой. Свободная нефть, капельная дисперсия и устойчивая эмульсия ведут себя при разделении по-разному [1]. В этой работе рассматриваем всплывающие капли. При одном и том же расходе доля уловленной нефти может меняться вместе с распределением капель по размерам.

Для расчётного сравнения взяли два состава, различающихся массовыми долями мелких и крупных капель. Сначала сопоставили их в аппарате одинаковой площади. Затем меняли площадь при постоянном расходе и отдельно проверили, как результат зависит от вязкости воды.

Модель всплывания и улавливания

В расчёте капли считаем сферическими, а их концентрацию достаточно низкой для независимого всплывания. Скорость принимаем установившейся. При малом числе Рейнольдса её оцениваем по закону Стокса [1, 2].

$$v = \frac{g(\rho_w - \rho_o)d^2}{18\mu}; \quad Re = \frac{\rho_w v d}{\mu} \tag{1}$$

В формуле (1) d – диаметр капли (м), ρw и ρo – плотности воды и нефти (кг/м³), μ – вязкость воды (Па·с), v – скорость всплывания (м/с). Для модельной смеси приняли ρw = 1000 кг/м³, ρo = 850 кг/м³, μ = 0,001 Па·с и g = 9,81 м/с².

За время пребывания в аппарате капля проходит вверх расстояние, равное произведению скорости всплывания на это время. До поверхности успевают дойти капли, начальная глубина которых меньше этого расстояния. Приняв равномерное распределение по глубине, получаем формулу (2).

$$\eta_i = min(1, \frac{v_i A}{Q}); \quad \eta = \Sigma f_i \eta_i \tag{2}$$

В формуле (2) A – площадь зеркала (м²), Q – расход (м³/с), f_i – доля массы нефти в классе i. Сумма f_i равна единице. Если скорость капли достигает Q/A, модель даёт полное улавливание этого класса. Каплю считаем уловленной сразу после выхода на поверхность. Перемешивание, слияние капель и их возврат в поток оставлены за пределами расчёта.

Исходные расчетные распределения

В обоих сценариях использовали одни и те же семь диаметров от 5 до 80 мкм. Различаются массовые доли. В мелком составе на капли 5–20 мкм приходится 60% массы, в крупном – 20%. Доли задали для сравнения сценариев (таблица 1, рисунок 1). Всплывание самых мелких капель оцениваем в рамках принятого допущения о разбавленной дисперсии.

Таблица 1 – Сценарные массовые доли и расчетная скорость всплывания

d, мкм	v, м/ч	Re	Мелкий состав, %	Крупный состав, %
5	0,0074	0,00001	15	5
10	0,0294	0,00008	20	5
20	0,1177	0,00065	25	10
30	0,2649	0,00221	15	15
40	0,4709	0,00523	10	20
60	1,0595	0,01766	10	20
80	1,8835	0,04186	5	25

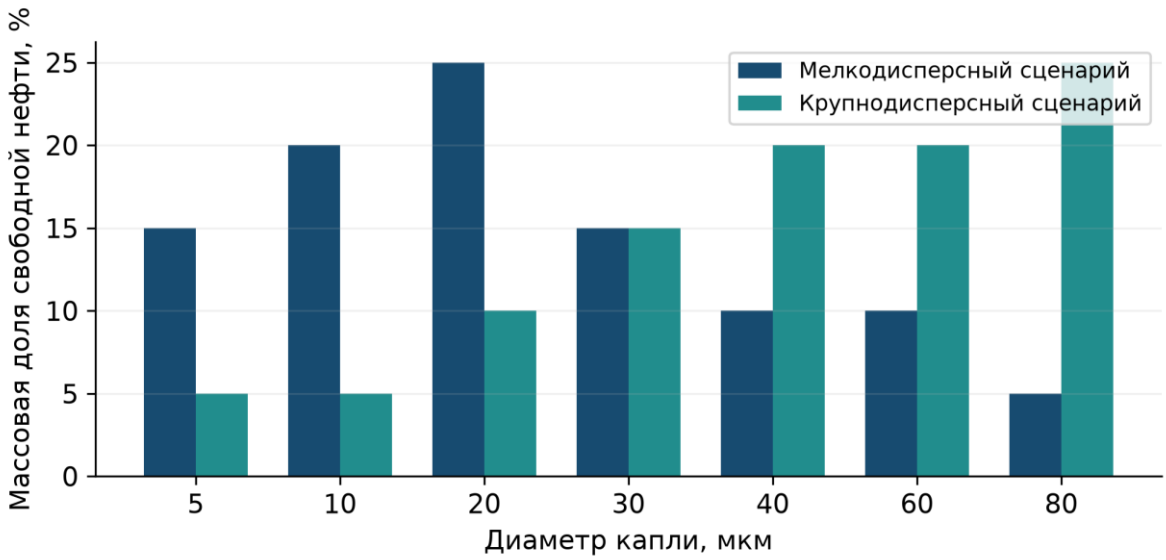

Рисунок 1 – Массовые доли капель в двух расчётных составах

Капля диаметром 10 мкм всплывает со скоростью 0,02943 м/ч, а капля 80 мкм – 1,88352 м/ч. Восьмикратное различие диаметров даёт 64-кратное различие скоростей по формуле (1). Для самой крупной капли Re = 0,04186. В основном расчёте это наибольшее значение, поэтому условие малых Re соблюдается для всех семи классов.

Влияние площади разделения

При расходе 100 м³/ч увеличение площади от 25 до 200 м² снижает нагрузку Q/A с 4 до 0,5 м/ч. Критический диаметр находим из равенства v = Q/A. При площади 100 м² он составляет 58,29 мкм. При 200 м² порог снижается до 41,22 мкм (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетное улавливание свободной нефтяной фазы

A, м²	Q/A, м/ч	dкр, мкм	Мелкий состав, %	Крупный состав, %
25	4,00	116,58	8,08	20,76
50	2,00	82,44	16,17	41,51
100	1,00	58,29	27,32	59,75
200	0,50	41,22	39,65	74,50

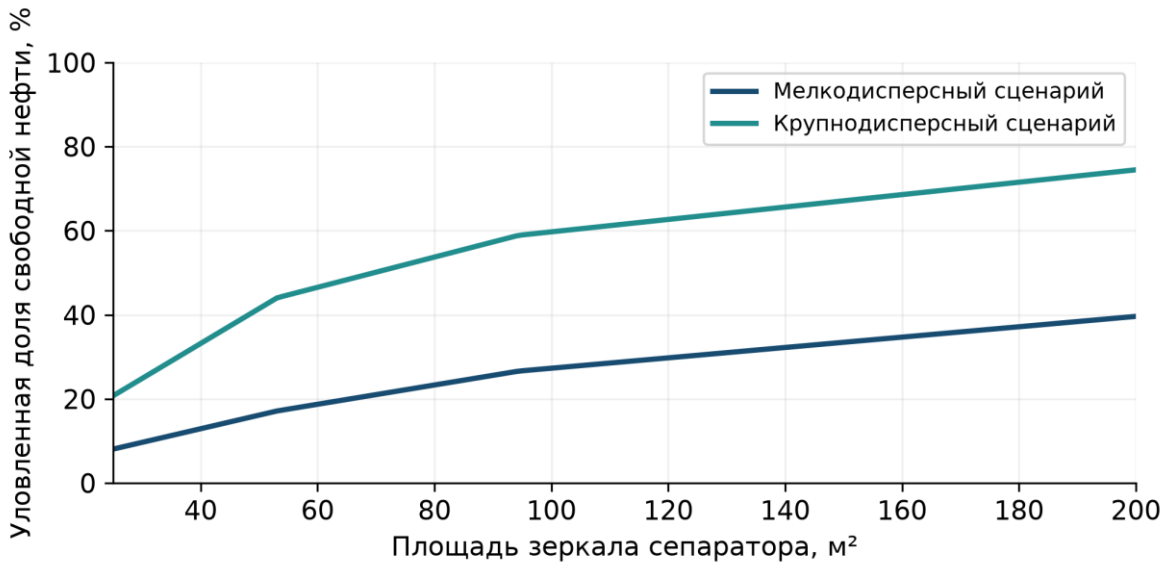

Рисунок 2 – Доля уловленной нефти при расходе 100 м³/ч

При площади 100 м² капли 60 и 80 мкм модель улавливает полностью. На эти два класса приходится 15% массы в мелком составе и 45% в крупном. В этом основная причина различия итогов. С учётом частичного улавливания остальных классов получаются 27,32 и 59,75%, разница – 32,43 процентного пункта.

При удвоении площади доля уловленной нефти возрастает до 39,65 и 74,50%. Вклад уже полностью уловленных крупных капель при этом остаётся прежним. Дополнительный прирост дают более мелкие классы. Например, для 40 мкм расчётная доля улавливания повышается примерно с 47 до 94%.

Чувствительность и ограничения

В отдельной серии оставили площадь 100 м² и сохранили плотности обеих фаз. При повышении вязкости воды с 0,0008 до 0,0015 Па·с доля уловленной нефти снизилась с 30,40 до 20,28% для мелкого состава и с 63,44 до 48,96% для крупного. Здесь меняли только вязкость. Для расчёта нагрева потребовалось бы учитывать также изменение плотности, межфазных свойств и устойчивости капель.

Если увеличить площадь и расход в одинаковое число раз, отношение Q/A и расчётная доля улавливания сохранятся. Глубина сокращается в выводе формулы для равномерного потока. В реальном аппарате движение жидкости зависит в том числе от входных струй и коротких путей потока. Накопление осадка и удаление нефтяного слоя следует учитывать при проектировании [3].

В формуле (1) использовано приближение Стокса с неподвижной поверхностью капли. Деформация, внутренняя циркуляция и взаимодействие капель в расчёт не входят. Поверхностно-активные вещества способны влиять на устойчивость дисперсии [2]. Поэтому рассчитанную долю

улавливания можно применять для сравнения заданных составов свободной нефтяной фазы. Оценка качества стока требует данных о концентрациях нефтепродуктов на выходе.

Заключение

В условиях расчёта переход от мелкого состава к крупному при площади 100 м² и расходе 100 м³/ч увеличил долю уловленной нефти на 32,43 процентного пункта. Удвоение площади для мелкого состава дало меньший прирост, около 12,3 пункта. Для предварительной оценки нефтеловушки нужен дисперсный состав входного потока. Эффективность действующего аппарата следует проверять по измерениям на входе и выходе.

Список литературы

[1] Osamor F. A., Ahlert R. C. Oil/Water Separation: State of the Art. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 1978. Report EPA-600/2-78-069.

[2] Manning F. S., Snider E. H. Environmental Assessment Data Base for Petroleum Refining Wastewaters and Residuals. Ada: U.S. Environmental Protection Agency, 1983. Report EPA-600/2-83-010.

[3] American Petroleum Institute. Management of Water Discharges: Design and Operation of Oil-Water Separators. API Publication 421. 1st ed. API, 1990.