

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

КАФЕДРА ХИМИИ И ТПНГ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

по дисциплине «Нефтяные дисперсные системы»

для студентов заочной формы обучения специальности 1- 48 01 03

Составление:

доцент кафедры
химии и ТПНГ,
к.т.н. Ермак А.А.

В течение семестра студенты заочной формы обучения выполняют самостоятельную работу, которая включает в себя четыре задания.

Цель первого задания – самостоятельное углубленное изучение теоретических основ получения, классификации и регулирования свойств нефтяных дисперсных систем.

Цель второй задачи заключается в освоении методики построения кривых текучести неньютоновских жидкостей (по данным, полученным при помощи метода ротационной вискозиметрии), методики расчета вязкости неньютоновских жидкостей и методики расчета энергии, необходимой для разрушения пространственных структур в реальных растворах и дисперсных системах

Цель третьей задачи заключается в освоении методик исследования кинетики седиментации суспензий и определения фракционного состава порошков.

Целью четвертой задачи является освоение методики расчета удельной поверхности адсорбентов по изотерме адсорбции паров твердым адсорбентом, с использованием теории БЭТ.

Работа оформляется в виде записки объёмом до 30 листов формата А4. Записка печатается на принтере на одной стороне листа, другая сторона остаётся свободной для замечаний руководителя, внесения исправлений и дополнений. Поля: верхнее – 25, нижнее – 25, левое – 30, правое – 15 мм. Тип шрифта «Times New Roman Cyr». Размер шрифта 12 или 14пт. Межстрочный интервал «Одинарный». Выравнивание по ширине. Размер отступа в первой строке абзаца должен быть одинаковым по всему тексту – 1,25.

Заголовки и подзаголовки отделяют от основного текста сверху и снизу двумя интервалами. Заголовки набираются прописными, а подзаголовки строчными буквами. Точка в конце заголовка и подзаголовка не ставится, и они не подчёркиваются. Выравнивание по центру.

Первая страница записки – титульный лист, вторая – содержание. Далее следуют условие и решение задач. В конце работы приводится список использованной литературы, ставятся дата выполнения работы и подпись студента. Все рисунки в задачах должны быть выполнены при помощи MS Excel или на миллиметровой бумаге.

Допускается оформление работы рукописным способом в стандартной ученической тетради в клеточку.

Работа представляются на экзамене в распечатанном виде. Её наличие и содержание (полнота и правильность выполнения, новизна представленных материалов в задании №1 и пр.) учитывается при выставлении экзаменационной оценки. Консультации по выполнению заданий настоящей работы проводятся в дни заочника, а также по **e-mail; alex.ermack@yandex.by**.

Задача 1. Дисперсные системы в нефтепереработке

Варианты заданий

1. (17) Понятия «Поверхностные явления», «Дисперсные системы». Классификация нефтяных дисперсных систем (НДС).
2. (18) Понятия «Дисперсная структура», «Фрактал», «Кластер». Виды дисперсных структур в НДС.
3. (19) Этапы фазообразования. Виды локальных образований в нефтяных системах.
4. (20) Понятия «поверхностное натяжение» и «удельная поверхность». Методы их определения.
5. (21) Виды межмолекулярных взаимодействий и их влияние на свойства нефтяных дисперсных систем.
6. (22) Эмульсии в нефтепереработке. Механизм образования нефтяных эмульсий. Факторы, влияющие на устойчивость эмульсий.
7. (23) Способы получения и методы регулирования свойств битумных эмульсий.
8. (24) Эмульсии в нефтепереработке. Способы и механизм разрушения нефтяных эмульсий.
9. (25) Пены в нефтепереработке. Механизм образования и строение пен.
10. (26) Пены в нефтепереработке. Способы предотвращения пенообразования и разрушения пен.
11. (27) Суспензии в нефтепереработке. Методы получения и регулирования свойств суспензий.
12. (28) Порошки в нефтепереработке. Классификация и свойство порошков.

13. (29)Адсорбционные процессы в нефтепереработке.
 14. (30)Виды и строение адсорбентов.
 15.(31)Теоретические основы адсорбции. Механизм адсорбционного понижение прочности твердых тел – эффект Ребиндера.
 16. (32)Каталитические процессы в нефтепереработке. Основные характеристики катализаторов как дисперсных систем.

Задача 2. Построение кривых текучести. Расчёт вязкости нефтепродуктов и энергии разрушения надмолекулярных структур.

Цель работы: построение кривых текучести неньютоновских жидкостей. Освоение методики расчета вязкости неньютоновских жидкостей, по данным, полученным при помощи метода ротационной вискозиметрии. Освоение методики расчета энергии, необходимой для разрушения пространственных структур в реальных растворах и дисперсных системах.

Исходные данные (пример):

В результате испытания образца нефтепродукта с помощью ротационного вискозиметра (при постоянной температуре) были получены данные, приведенные в табл. 44: Необходимо:

1. Рассчитать напряжение сдвига τ [Па] и динамическую вязкость образца η [Па × с] при различных скоростях сдвига.
2. Построить кривую текучести образца с гистерезисом, т. е. при возрастании и убывании скорости сдвига – график зависимости напряжения сдвига τ [Па] от скорости сдвига D [с⁻¹], и график зависимости вязкости от скорости сдвига.
3. Рассчитать энергию необходимую для разрушения надмолекулярных структур образца.

Табл. 1 – Исходные данные для расчета

Скорость сдвига D , [с ⁻¹]	Показания α , [skt].
3	6,8
5,4	8,8
9	9,8
16,2	11
27	12
48,6	13,3
81	15
145,8	16,5
243	18,2
437	19,8
792	21
437	18,4
243	14,3
145,8	10,9
81	8,4
48,6	7
27	5,8
16,2	4,2
9	3,9
5,4	3,2
3	2,8

Напряжение сдвига τ [Па] и динамическая вязкость η [Па·с] рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\tau = C \times \alpha \quad (1)$$

где C – постоянная измерительной системы. В данном примере

$$C = 8,7 \text{ [Па/skt]}$$

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (2)$$

При выполнении настоящего задания рекомендуется использовать пакеты программ MS Excel и Mathcad.

Порядок выполнения задания (пример):

1. По исходным данным, приведенным в табл. 1 и уравнениям (1, 2), рассчитывается напряжение сдвига и динамическая вязкость исследуемого образца при соответствующем значении скорости сдвига. Результаты расчёта приведены в табл. 2:

Табл. 2 – Результаты расчета

Скорость сдвига D , [с ⁻¹]	Показания α , [skt].	Напряжение сдвига τ [Па]	Вязкость динамическая η , [Па·с]
3	6,8	59,16	19,72
5,4	8,8	76,56	14,1778
9	9,8	85,26	9,4733
16,2	11	95,7	5,9074
27	12	104,4	3,8667
48,6	13,3	115,71	2,3809
81	15	130,5	1,6111
145,8	16,5	143,55	0,9846
243	18,2	158,34	0,6516
437	19,8	172,26	0,3942
792	21	182,7	0,2307
437	18,4	160,08	0,3663
243	14,3	124,41	0,5120
145,8	10,9	94,83	0,6504
81	8,4	73,08	0,9022
48,6	7	60,9	1,2531
27	5,8	50,46	1,8689
16,2	4,2	36,54	2,2556
9	3,9	33,93	3,77
5,4	3,2	27,84	5,1556
3	2,8	24,36	8,12

↙ Максимальная скорость сдвига

2. По данным, приведенным в табл. 2 строится кривая текучести (рис. 1) и график зависимости вязкости образца от скорости сдвига (рис. 2).

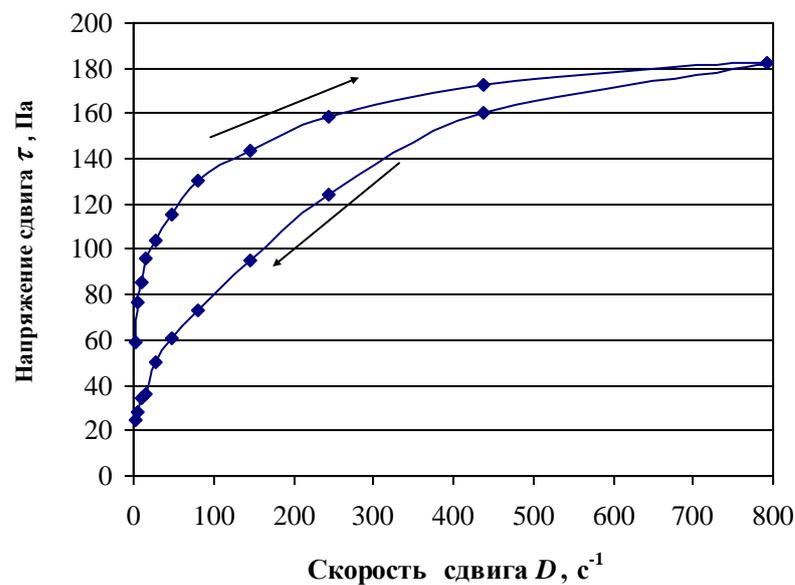


Рис. 1 Кривая текучести с гистерезисом. Стрелки указывают направление изменения скорости сдвига.

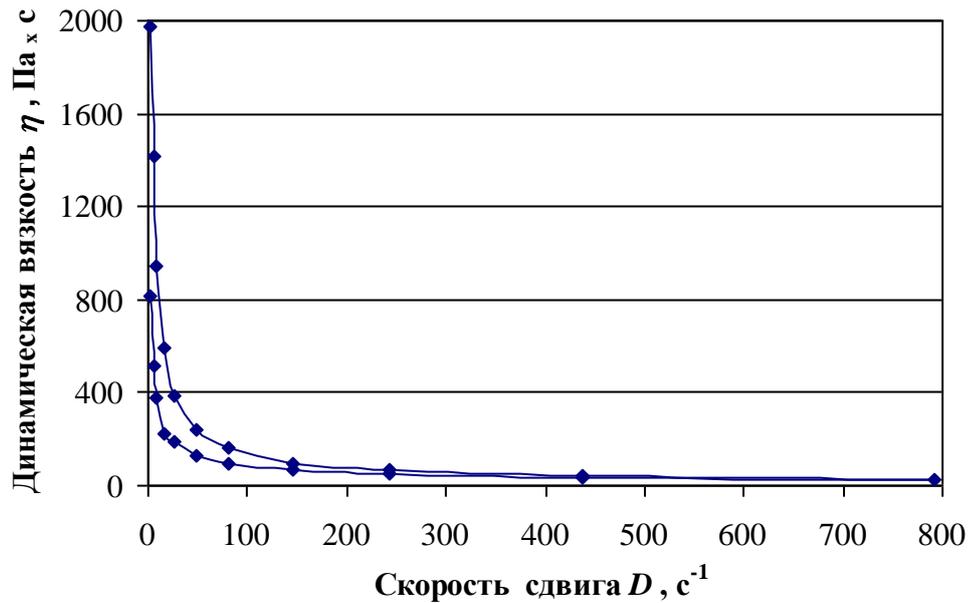


Рис. 2 График зависимости вязкости образца от скорости сдвига

По рис. 1, 2 делаются выводы:

1. Увеличение скорости сдвига приводит к росту напряжения сдвига и уменьшению вязкости образца.
2. Напряжение сдвига изменяется непропорционально изменению скорости сдвига. Следовательно, исследуемый образец является неньютоновской жидкостью.
3. Проводится определение энергии, необходимой для разрушения надмолекулярных структур в исследуемом образце.

Для того, чтобы определить значение энергии, необходимой для разрушения надмолекулярной структуры в образце необходимо найти площадь области (A) между кривыми текучести (рис. 3).

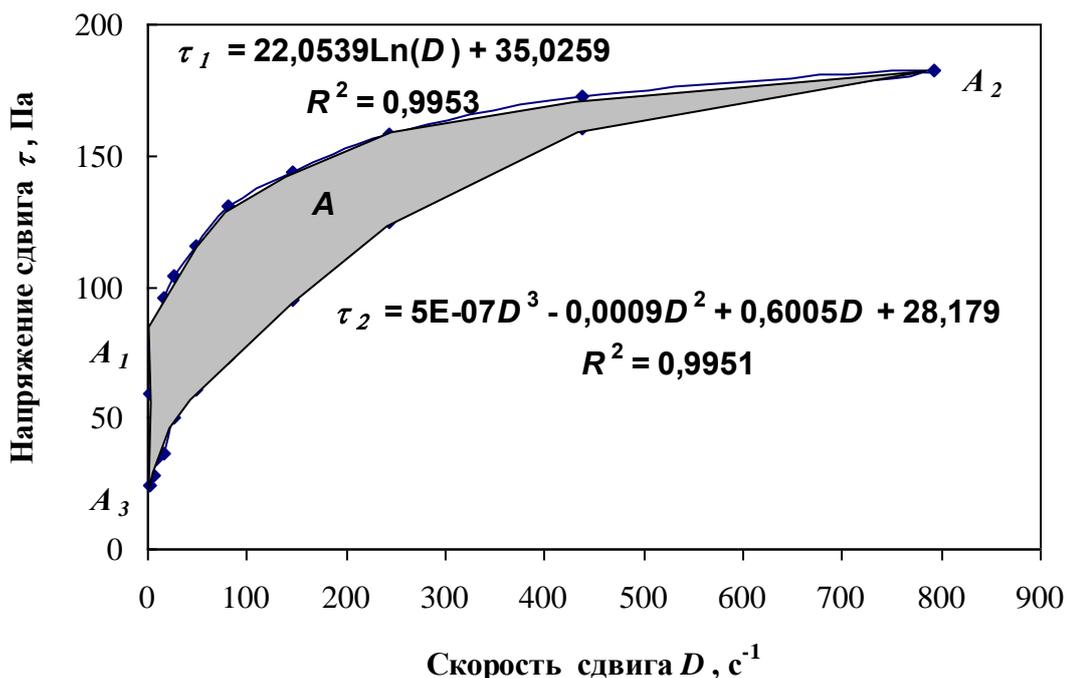


Рис. 3. Вывод уравнений зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига.

Эта площадь имеет измерение энергии к объёму испытуемого образца:

$$A = \tau(fD), \left[\text{Па} \rightarrow \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \rightarrow \frac{\text{М} \cdot \text{КГ}}{\text{с}^2 \cdot \text{М}^2} \cdot \frac{\text{М}}{\text{М}} \rightarrow \frac{\text{М}^2 \cdot \text{КГ}}{\text{с}^2 \cdot \text{М}^3} \rightarrow \frac{\text{Дж}}{\text{М}^3} \right] \quad (3)$$

и может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$A = \int_{D_1}^{D_2} \tau_1 dD - \int_{D_1}^{D_2} \tau_2 dD \quad (4)$$

где τ_1 – функция напряжения сдвига от скорости сдвига на кривой $A_1 - A_2$, при возрастающей скорости сдвига;

τ_2 – функция напряжения сдвига от скорости сдвига на кривой $A_2 - A_3$, при убывающей скорости сдвига;

D_1, D_2 – значения минимальной и максимальной скорости сдвига соответственно. В данном примере $D_1 = 3 \text{ с}^{-1}$, $D_2 = 792 \text{ с}^{-1}$.

Для того, чтобы найти аналитическое выражение τ_1 и τ_2 , как функций от скорости сдвига, необходимо построить в MS Excel линии тренда для кривых $A_1 - A_2$ и $A_2 - A_3$ (см. рис. 3). Для этого:

1. На одной диаграмме построить (**как две отдельные линии!**) графики зависимости τ_1 от скорости сдвига – кривая $A_1 - A_2$, и τ_2 от скорости сдвига – кривая $A_2 - A_3$.

2. Подобрать для них соответствующий вид и уравнение линии тренда. Коэффициент аппроксимации (корреляции) R^2 , полученных зависимостей должен быть не менее 0,99 (см. рис. 3).

Таким образом, энергия, необходимая для разрушения надмолекулярной структуры в образце в настоящем примере, равна:

$$A = \int_{D_1}^{D_2} \tau_1 dD - \int_{D_1}^{D_2} \tau_2 dD = \int_3^{792} (22.0533 \cdot \ln(D) + 35.0259) dD - \int_3^{792} (0,000005 \cdot D^3 - 0,0009 \cdot D^2 + 0,5761 \cdot D + 29,5) dD = 22641,11 \text{ Дж/м}^3.$$

Для облегчения нахождения значения определённого интеграла рекомендуется использовать программу Mathcad. Значение определённого интеграла также может быть найдено по формуле Ньютона-Лейбница.

Примечание: Если достигнуть точности R^2 более или равно 0,99 путём построения на кривой, например $A_2 - A_3$, одной линии тренда невозможно, то рекомендуется разбить эту кривую на несколько участков и построить для каждого из них линии тренда. Интегрироваться должна каждая их функций с учётом диапазона изменения скоростей сдвига, в пределах которых она построена.

Варианты заданий приведены в табл. 3

Табл. 3 – Варианты заданий к задаче № 2

Вариант 1 (26)		Вариант 2 (27)		Вариант 3 (28)	
$C = 8,1 \text{ [Па/скт]}$		$C = 5,73 \text{ [Па/скт]}$		$C = 35,78 \text{ [Па/скт]}$	
Показания	Скорость	Показания	Скорость	Показания	Скорость
α	сдвига	α	сдвига	α	сдвига
	$D, \text{с}^{-1}$		$D, \text{с}^{-1}$		$D, \text{с}^{-1}$
4,8	3	2,1	0,1	2,1	1

6,1	5,4	2,8	0,18	2,8	1,6
8	9	3,7	0,3	3,7	3
10	16	5,6	0,54	5,6	5
11	27	6,6	0,9	6,6	9
12	48	8,1	1,62	8,1	15
13,5	81	9,6	2,7	9,6	27
15	145	11,6	4,86	11,6	45
16,8	243	13	8,1	13	81
19	437	15	14,58	15	135
20,3	729	16,5	24,3	16,5	243
22	1312	18	43,27	17	270
19	792	15	24,3	16,2	243
17	437	12,8	14,58	13,5	135
14	243	10	8,1	11	81
11	145	8	4,86	8	45
8,5	81	6,2	2,7	6,2	27
5,4	48	5	1,62	4	15
4,2	27	3,5	0,9	3,5	9
3,3	16	2,2	0,54	2	5
2	9	1,8	0,3	1,8	3
1,3	5,4	1,4	0,18	1,3	1,6
0,8	3	1,2	0,1	0,9	1

Продолжение табл. 3

Вариант 4 (29)		Вариант 5 (30)		Вариант 6 (31)	
$C = 8,2$ [Па/skt]		$C = 5,73$ [Па/skt]		$C = 35,78$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}
6,5	3	3,2	0,1	0,8	2
7,2	5,4	5,2	0,18	3,7	10
8,1	9	5,9	0,3	6,1	18
10	16	7,1	0,54	6,5	30
11	27	8,2	0,9	9	54
12,5	48	10,4	1,62	11	90
14	81	12	2,7	12	150
16	145	14	4,86	14	270
18	243	15,5	8,1	15	450
19	437	17	14,58	16,5	810
20,3	729	18,3	24,3	18	1350
22	1312	20	43,27	19,8	2430
19	792	18	24,3	16,2	1350
17	437	15	14,58	13,5	810
14	243	13	8,1	10	450
11	145	11	4,86	8	270
8,5	81	8,5	2,7	6,2	150
6,2	48	6,2	1,62	4,2	90
4,5	27	4,5	0,9	3,5	54
3,4	16	3,4	0,54	2,1	30
2,2	9	2,2	0,3	1,8	18
1,4	5,4	1,4	0,18	1,4	10
1	3	1	0,1	0,4	2

Продолжение табл. 3

Вариант 7 (32)		Вариант 8 (33)		Вариант 9 (34)	
$C = 8,7$ [Па/skt]		$C = 5,73$ [Па/skt]		$C = 216,78$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}
5,1	3	2,8	0,1	2,1	1
7,2	5,4	4,1	0,18	2,8	1,6
8,1	9	5,9	0,3	3,7	3
10	16	7,1	0,54	5,6	5
11	27	8,2	0,9	6,6	9
12,5	48	10,4	1,62	8,1	15
14	81	12	2,7	9,6	27
16	145	14	4,86	11,6	45
18	243	15,5	8,1	13	81
19	437	17	14,58	15	135
20,3	729	18,3	24,3	16,5	243
22	1312	20,1	43,27	16,8	270
19	792	17,8	24,3	16,2	243
17	437	15,8	14,58	13,5	135
14	243	12,8	8,1	11	81
11	145	9,8	4,86	8	45
8,5	81	7,3	2,7	6,2	27
6,2	48	5	1,62	4	15
4,5	27	3,3	0,9	3,5	9
3,4	16	2,2	0,54	2	5
2,2	9	1,3	0,3	1,8	3
1,4	5,4	0,8	0,18	1,3	1,6
1,2	3	0,5	0,1	0,9	1

Продолжение табл. 3

Вариант 10 (35)		Вариант 11 (36)		Вариант 12 (37)	
$C = 8,4$ [Па/skt]		$C = 5,68$ [Па/skt]		$C = 7,8$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$
3,2	3	2,8	0,3	2,1	1
5,4	5,4	4,1	0,54	2,8	1,6
8,4	9	5,9	0,9	3,7	3
10	16	7,1	1,62	5,6	5
11	27	8,2	2,7	6,6	9
12,5	48	10,4	4,86	8,1	15
14	81	12	8,1	9,6	27
16	145	14	24,3	11,6	45
18	243	15,5	40,5	13	81
20	437	17	72,9	15	135
21	729	18,3	121,5	16,5	243
23	1312	20,1	218,7	16,8	270
20,6	729	17,8	121,5	16,2	243
18	437	15,8	72,9	13,5	135
14	243	12,8	40,5	11	81
11	145	11,1	24,3	8	45
8,5	81	7,3	8,1	6,2	27
6,2	48	6	4,86	4	15
4,5	27	4	2,7	3,5	9
3,6	16	2,8	1,62	2	5
2,4	9	2	0,9	1,8	3
1,8	5,4	1,4	0,54	1,3	1,6
1,5	3	1,1	0,3	0,9	1

Продолжение табл. 3

Вариант 13 (38)		Вариант 14 (39)		Вариант 15 (40)	
$C = 8,1$ [Па/скт]		$C = 3,26$ [Па/скт]		$C = 35,78$ [Па/скт]	
Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$
3,4	3	2,8	0,3	1,1	0,556
6,1	5,4	4,1	0,54	2,8	2
8,4	9	5,9	0,9	3,7	3
10	16	7,1	1,62	5,6	5
11	27	8,2	2,7	6,6	9
12,5	48	10,4	4,86	8,1	15
14	81	12	8,1	9,6	27
16	145	14	24,3	11	45
18	243	15,5	40,5	12,8	81
20	437	17	72,9	14	135
21	729	18,3	121,5	15,5	243
23	1312	20,1	218,7	15,7	270
20,8	729	17,8	121,5	15,3	243
19	437	15,8	72,9	13	135
17	243	12,8	40,5	11	81
14,1	145	11,1	24,3	8	45
11	81	7,3	8,1	6,2	27
9,2	48	6	4,86	4	15
6	27	4	2,7	3,5	9
5	16	2,8	1,62	2	5
4	9	2	0,9	1,8	3
3	5,4	1,4	0,54	1,3	2
2,5	3	1,1	0,3	0,9	0,556

Продолжение табл. 3

Вариант 16 (41)		Вариант 17 (42)		Вариант 18 (43)	
$C = 8,7$ [Па/skt]		$C = 7,68$ [Па/skt]		$C = 7,8$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}	Показания α	Скорость сдвига D, c^{-1}
3,4	3	0,8	0,03	1,5	1
5,4	5,4	2,1	0,09	2,8	2
8,4	9	3,2	0,15	3,7	3
10	16	5,6	0,27	5,6	5
11	27	7,5	0,45	6,6	9
12,5	48	9,5	0,81	8,1	15
14	81	11	1,35	9,6	27
16	145	13,1	2,43	11	45
18	243	14,8	4,05	12,8	81
20	437	17	7,3	14	135
21	729	18,7	14,58	15,5	270
23	1312	20,4	24,3	17	486
20,8	729	18,1	14,58	14,8	270
19	437	15,8	7,3	12,5	135
17	243	12,8	4,05	10,3	81
14,9	145	11,1	2,43	8	45
12	81	7,3	1,35	6,2	27
10,5	48	6	0,81	4	15
8	27	4	0,45	3,5	9
6	16	2,8	0,27	2	5
5	9	2	0,15	1,8	3
4	5,4	1,4	0,09	1,3	2
2,4	3	0,5	0,03	0,9	1

Продолжение табл. 3

Вариант 19 (44)		Вариант 20 (45)		Вариант 21 (46)	
$C = 8,7$ [Па/skt]		$C = 5,73$ [Па/skt]		$C = 216,78$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$
4,8	3	3	0,1	1,6	1
6,8	5,4	5,1	0,18	2,8	2
7,2	9	5,9	0,3	3,7	3
9,8	16	7,2	0,54	5,6	5
10,1	27	8,2	0,9	6,6	9
12,5	48	10,4	1,62	8,1	15
14	81	12	2,7	9,6	27
16	145	14	4,86	11	45
18	243	15,5	8,1	12,8	81
19	437	17	14,58	14	135
20,3	729	18,3	24,3	15,5	270
22	1312	20,4	43,27	17	486
19	792	17,4	24,3	14,8	270
17	437	15	14,58	12,5	135
14	243	13	8,1	10,3	81
11	145	11	4,86	8	45
8,5	81	8,5	2,7	6,2	27
6,2	48	6,2	1,62	4	15
4,5	27	4,5	0,9	3,5	9
3,4	16	3,4	0,54	2	5
2,2	9	2,2	0,3	1,8	3
1,4	5,4	1,4	0,18	1,3	2
0,8	3	0,8	0,1	0,9	1

Продолжение табл. 3

Вариант 22 (47)		Вариант 23 (48)		Вариант 24 (49)	
$C = 8,1$ [Па/skt]		$C = 3,26$ [Па/skt]		$C = 8,7$ [Па/skt]	
Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$	Показания α	Скорость сдвига $D, \text{с}^{-1}$
5,8	3	2,8	0,3	1,6	1
6,8	5,4	4,1	0,54	2,8	2
7,2	9	5,9	0,9	3,7	3
9,2	16	7,1	1,62	5,6	5
10,3	27	8,2	2,7	6,6	9
12,5	48	10,4	4,86	8,1	15
14	81	12	8,1	9,6	27
16	145	14	24,3	11	45
18	243	15,5	40,5	12,8	81
19	437	17	72,9	14	135
20,3	729	18,3	121,5	15,5	270
22,2	1312	20,1	218,7	17	486
19	792	17,8	121,5	15,2	270
17	437	15,8	72,9	13,3	135
14	243	12,8	40,5	12	81
11	145	11,1	24,3	10,3	45
8,5	81	7,3	8,1	8,5	27
6,2	48	6	4,86	6,2	15
4,5	27	4	2,7	4,5	9
3,4	16	2,8	1,62	3,4	5
2,2	9	2	0,9	2,2	3
1,4	5,4	1,4	0,54	1,5	2
0,7	3	1,1	0,3	1	1

Продолжение табл. 3

Вариант 25 (50)	
$C = 8,7$ [Па/скт]	
Показания α	Скорость сдвига D , с ⁻¹
7,2	3
9	5,4
10,1	9
11,4	16,2
12,2	27
13,6	48,6
15,1	81
16,5	145,8
18,2	243
19,8	437
21	792
18,4	437
14,3	243
11	145,8
8,4	81
7,2	48,6
5,8	27
4,9	16,2
3,8	9
3	5,4

Задача 3. Седиментационный анализ суспензий и порошков

Цель работы: Исследование кинетики седиментации суспензии методом непрерывного взвешивания. Определение фракционного состава порошка.

Краткие теоретические положения.

Седиментационный анализ состоит в экспериментальном получении кривой седиментации, т. е. зависимости массы осадка m дисперсной фазы от времени осаждения τ .

Если сферическую частицу, радиус которой r и плотность ρ , поместить в жидкость, плотность которой равна ρ_0 , а вязкость η , на нее будет действовать сила тяжести (седиментации):

$$F_{\text{сед}} = V(\rho - \rho_0)g$$

где V – объем частицы, для сферических частиц $V = 4\pi r^3/3$; g – ускорение свободного падения.

Как только частица начнет оседать, возникнет противодействующая сила – сила трения ($F_{\text{тр}}$)

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}}U_{\text{сед}}$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения, в соответствии с законом Стокса $f_{\text{тр}} = 6\pi\eta r$, $U_{\text{сед}}$ – скорость седиментации.

В начале частица движется ускоренно, так как при малых скоростях сила тяжести превышает силу трения. По мере увеличения скорости движения сила трения возрастает и в некоторый момент достигается равенство $F_{\text{сед}} = F_{\text{тр}}$ при котором частицы начинают двигаться с постоянной скоростью. Время, которое для этого требуется, пренебрежимо мало. Так, для частиц кварца радиусом 50 мкм это время составляет $3,4 \times 10^{-3}$ с, а для частиц радиусом 1 мкм – $1,7 \times 10^{-6}$ с.

Скорость седиментации прямо пропорциональна квадрату радиуса частицы. Следовательно, частицы разных размеров оседают с разными скоростями: чем больше частица, тем больше скорость ее оседания.

$$U_{\text{сед}} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta}$$

Если экспериментально определить скорость оседания, можно легко рассчитать радиус частицы:

$$r = \sqrt{\frac{9U_{\text{сед}}\eta}{2(\rho - \rho_0)g}}$$

Это уравнение справедливо только для условий, при которых выполняется закон Стокса, а именно:

1. частицы имеют сферическую форму;
2. движутся ламинарно, независимо друг от друга и с постоянной скоростью;
3. частицы полностью смачиваются дисперсионной средой.

Эти условия выполняются только для систем, в которых размеры частиц лежат в пределах 10^{-5} - 10^{-2} см. Если размеры частиц больше 10^{-2} см, при их оседании достигается высокая скорость, разрывается сольватный слой, вслед за движущейся частицей создаются завихрения, обуславливающие разность давлений, которая тормозит движение частиц. В результате этого ламинарный режим движения нарушается – возникает турбулентность. Если сила тяжести превышает силу трения, движение становится равноускоренным, а следовательно, приведенное выше уравнение становится неприменимым.

Если размеры частиц меньше 10^{-5} см, то такие частицы участвуют в броуновском

движении, следствием которого является диффузия, направленная противоположно седиментации, кроме того, на движение таких частиц сильно влияют конвекционные тепловые потоки.

На седиментацию отдельной частицы не должны влиять соседние частицы. Чтобы избежать взаимного влияния частиц, необходимо проводить седиментацию в достаточно разбавленных суспензиях (с концентрацией не выше 1%). Конечно, если взять еще более разбавленную суспензию, межчастичные взаимодействия будут проявляться еще в меньшей степени. Но чем более разбавлена суспензия, тем меньше масса осадка и тем больше ошибка измерения. Таким образом, в седиментационном анализе используют суспензии, размеры частиц в которых лежат в пределах от 10^{-5} до 10^{-2} см, а концентрация составляет 0,5 – 0,6%.

Важным условием применимости седиментационного анализа является полная смачиваемость частиц жидкостью, в которой они оседают. В этом случае на поверхности твердых частиц образуется слой из молекул жидкости, перемещающийся вместе с частицей. При движении частиц происходит скольжение между двумя слоями жидкости (а не между твердой поверхностью и жидкостью) и в уравнении Стокса величина η действительно представляет собой коэффициент вязкости жидкости. Кроме того, следует иметь в виду, что на несмачиваемых частицах обычно образуются воздушные пузырьки, искажающие результаты определения. Наконец, если частицы плохо смачиваются средой, то происходит их агрегация, что также искажает результаты анализа. Если исследуемое вещество не смачивается данной жидкостью, необходимо добавить смачиватель.

Седиментационный анализ монодисперсных порошков.

Если принять, что Q – общая масса дисперсной фазы а H – первоначальная высота столба суспензии, то Q/H показывает массу частиц, находящихся в столбе жидкости. Если частицы оседают со скоростью $U_{сед}$, то за время τ они осядут на высоту h , которая равна произведению $U_{сед} \cdot \tau$. Следовательно, масса частиц, осевших за время τ , обозначим её m , определяется уравнением

$$m = \frac{QU_{сед}\tau}{H}$$

График седиментации $m = f(\tau)$ представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат. Тангенс угла наклона которой характеризует скорость накопления осадка.

Так как суспензия монодисперсная, то все частицы оседают с одинаковой скоростью. Поэтому граница осветления будет четкой и определить скорость оседания можно по скорости движения этой границы

$$U_{сед} = h / \tau$$

где h – высота, на которую опустилась граница за время τ .

Тогда радиус частиц можно рассчитать по формуле:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta h}{2(\rho - \rho_0)g\tau}}$$

Седиментационный анализ полидисперсных порошков.

Все реальные порошки полидисперсны и поэтому оседают с различными скоростями. Четкой границы осветления суспензии не наблюдается – крупные частицы осаждаются быстрее, мелкие – медленнее. Поэтому кривая седиментации полидисперсной системы нелинейна.

Тангенсы углов наклона касательных к кривой седиментации определяют скорости седиментации соответствующих фракций частиц. Зная скорости оседания частиц отдельных фракций, можно рассчитать их радиусы. Так как большинство реальных порошков имеют частицы неправильной формы, то по уравнению Стокса можно рассчитать только эквива-

лентный радиус частиц сферической формы, оседающих с такой же скоростью, что и реальные частицы.

Для построения кривой седиментации обычно используются торсионные весы. С их помощью определяют массу частиц, оседающих на чашечку весов, помещенную в стеклянный цилиндр с исследуемой суспензией на расстояние h , от поверхности жидкости. Отмечают показания весов с интервалами времени 30 с, а затем их увеличивают до 1 мин, 3 мин, 5 мин по мере того как изменение массы замедляется.

В идеальном случае эксперимент заканчивается, когда масса осадка достигает количества порошка, взятого для приготовления суспензии. Но допустимо заканчивать измерения, когда изменение массы за 10 мин составляет не более 2 – 3 мг, или когда на чашечку весов выпадет не менее 75% исходного количества порошка. В табл. 4 приведены экспериментальные данные седиментации талька в воде.

Табл. 4 – Экспериментальные данные седиментации талька в воде

τ , минут	0,5	1	2	4	5	8	12	16	18
m_i , мг	8	11	16	21	26	29	34	38	40

m_i – масса осадка без массы чашечки весов.

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{талька}} = 2720$ кг/м³, плотность воды $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 40$ мг.

Пример решения задачи:

Рассчитаем относительные массы выпавшего осадка (Q_i , %) в соответствующие моменты времени:

$$Q_i = \frac{m_i}{m_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

t , минут	0,5	1	2	4	5	8	12	16	18
m_i , мг	8	11	16	21	26	29	34	38	40
Q_i , %	20,0	27,5	37,6	62,6	65,0	72,5	85,0	95,0	100,0

Построим седиментационную кривую $Q_i = f(\tau)$ (рис. 4).

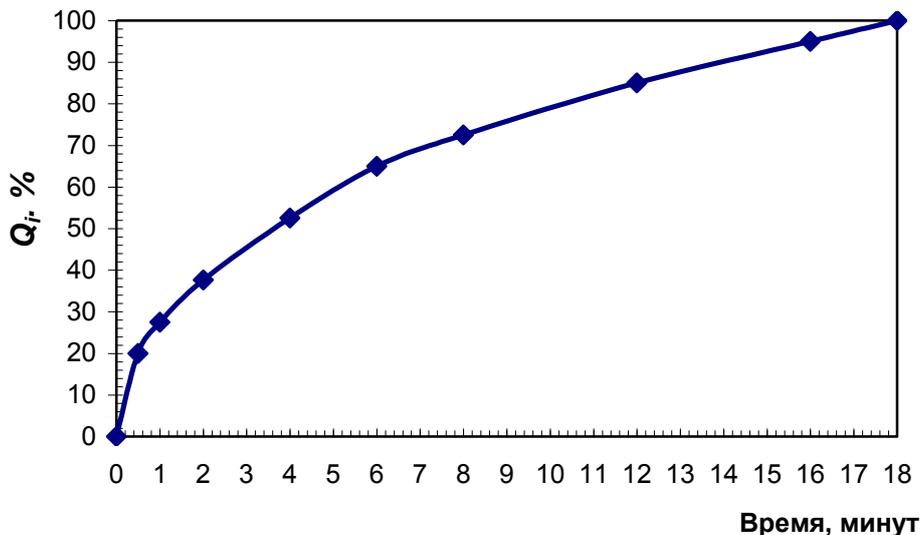


Рис. 4 – Седиментационная кривая осаждения талька в воде

Чем крупнее частица, тем быстрее она оседает, но мелкие частицы, находящиеся вблизи чашечки весов, осадут скорее, чем крупные, находящиеся у поверхности жидкости. В

результате на чашечке весов будут собираться частицы всех размеров. Поэтому кривая седиментации всегда начинается с прямолинейной зависимости и выходит из начала координат. Однако через некоторое время τ_{\min} , нужное, чтобы самые крупные частицы прошли расстояние h , этих частиц в суспензии не останется. Поэтому в дальнейшем прирост массы осадка уменьшится – линия станет кривой, выпуклой к оси ординат. Время τ_{\min} дает возможность рассчитать радиус самой крупной частицы. Определить значение τ_{\min} можно из графика рис. 5

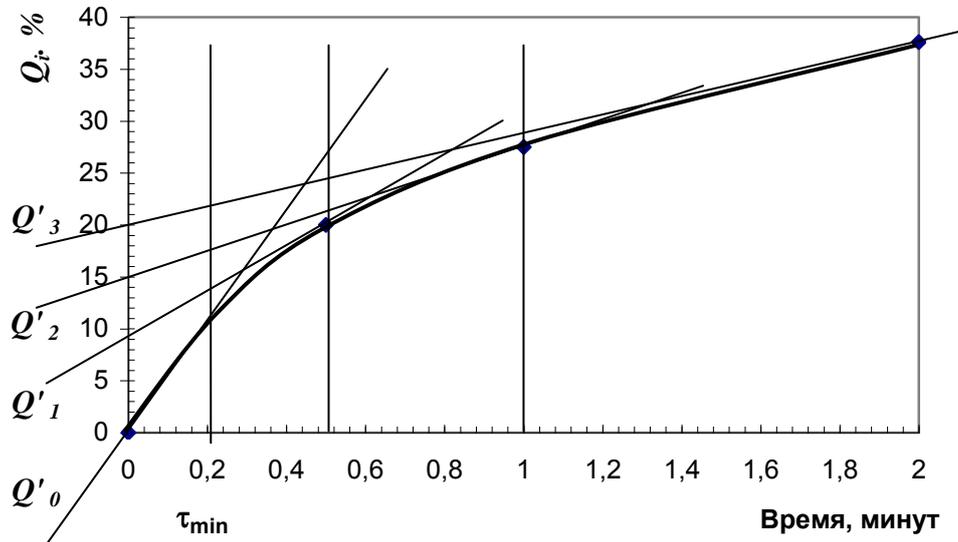


Рис. 5 – Седиментационная кривая осаждения талька в воде и определение Q'_i (первые 2 минуты)

Из рис. 5 видно, что $\tau_{\min} \approx 0,2$ минуты или 12 секунд (касательная выходящая из начала координат расходится с кривой седиментации в точке, соответствующей 0,2 минутам).

$$r_{\max} = \sqrt{\frac{9\eta \cdot h}{2(\rho - \rho_0)g\tau_{\min}}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,09}{2(2720 - 1000) \cdot 9,81 \cdot 12}} = 4,47 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

В дальнейшем скорость накопления осадка будет уменьшаться, график будет оставаться криволинейным вплоть до установления постоянной массы осадка. В настоящем примере это произойдет через $\tau_{\max} = 18$ мин. Такое время потребовалось, чтобы самая маленькая частица, имеющая радиус r_{\min} , с поверхности жидкости осела на чашечку весов, т. е. прошла расстояние h . Радиус самой мелкой частицы будет равен:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,09}{2(2720 - 1000) \cdot 9,81 \cdot (18 \cdot 60)}} = 0,47 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Далее рассчитывается, в каком соотношении находятся в суспензии частицы разных размеров, т.е. устанавливается фракционный состав порошка. Для этого на основе седиментационной кривой надо построить интегральную и дифференциальную кривую распределения частиц.

Построение интегральной кривой распределения $Q'_i = f(r_i)$. Общее количество порошка, осевшего к произвольному моменту времени τ_i , равно Q_i . Проведем касательную к

кривой в этой точке. Она отсекает на оси ординат отрезок Q'_i . Ордината Q_i окажется разделенной на две части: Q'_i – масса частиц во фракциях, нацело выпавших к моменту τ_i и g_1 – масса частиц во фракциях, выпавших лишь частично: $Q_i = Q'_i + g_1$.

Обычно касательные проводят к наиболее выпуклым точкам кривой седиментации. Однако чаще всего их проводят к точкам, отвечающим моментам времени, когда измерялась масса осадка. Пример построения касательных к кривой седиментации в точках определения массы осадка приведены на рис. 5 и 6.

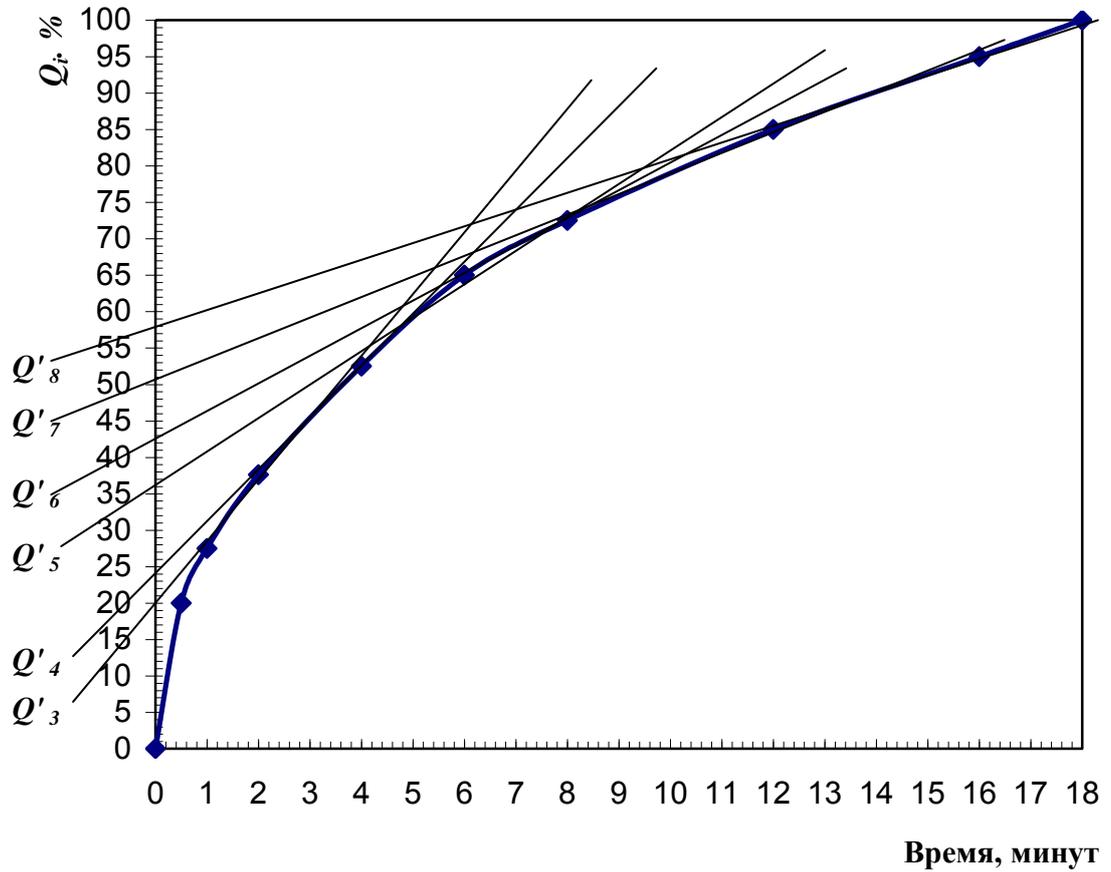


Рис. 6 – Седиментационная кривая осаждения талька в воде и определение Q'_i

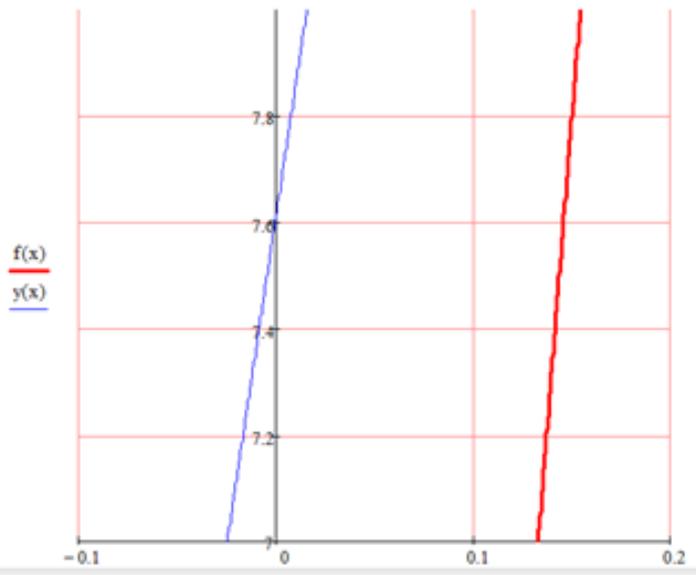
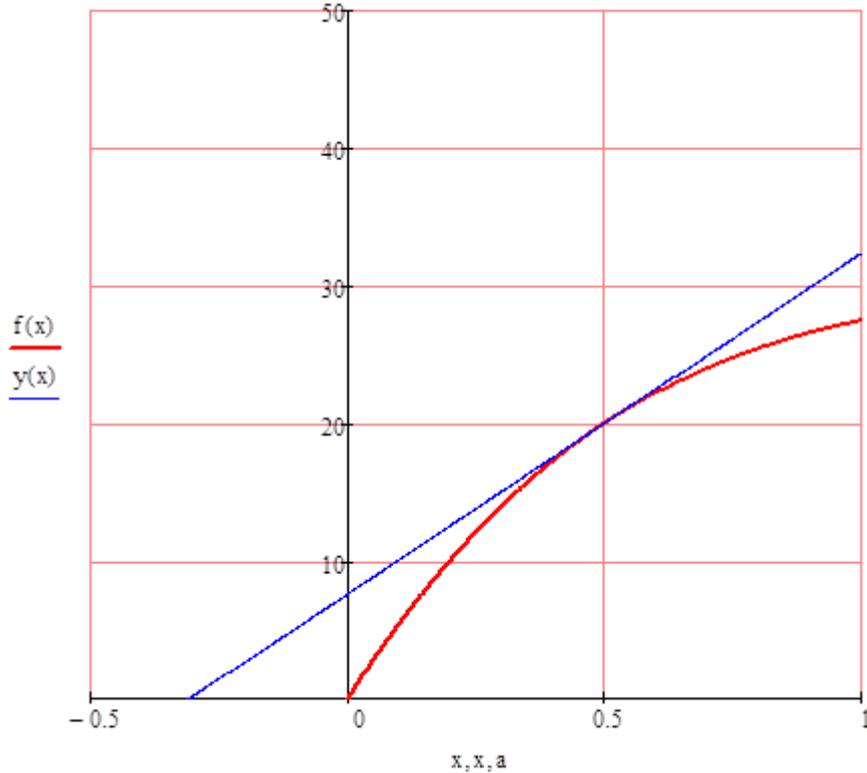
Примечание: Сидементационную кривую и касательные к ней рекомендуется построить на миллиметровой бумаге, но можно использовать и MathCAD.

Уравнение касательной к точке: $y(x) = f(a) + f'(a)(x - a)$

$$f(x) := 10.867x^3 - 41.3x^2 + 57.9x$$

$$y(x) := f(a) + \frac{d}{da}f(a) \cdot (x - a)$$

$$a := 0.5$$



Рассчитаем радиус частиц r_i , прошедших за время τ_i всю высоту суспензии $h = 0,09$ м до чашечки весов. r_i – это значения самого маленького радиуса частиц полностью выпавших к моменту времени τ_i . Расчетные данные для построения кривой распределения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты обработки данных седиментации талька в воде

i	τ_i , минут	Q_i , %	Q'_i , %	$r_i \times 10^5$ м	$\Delta Q'_i$, %
0	0 → 0,2	0	0	4,47	–
1	0,5	20	9,0	2,83	9,0
2	1	27,5	15,0	2,00	6,0
3	2	37,5	20,0	1,41	5,0
4	4	52,5	25,0	1,00	5,0
5	6	65,0	37,0	0,82	12,0
6	8	72,5	43,0	0,71	6,0
7	12	85,0	51,0	0,58	8,0
8	16	95,0	58,0	0,50	7,0
9	18	100	100	0,47	42,0

На основании полученных данных строится интегральная кривая распределения частиц $Q'_i = f(r_i)$ рис. 7.

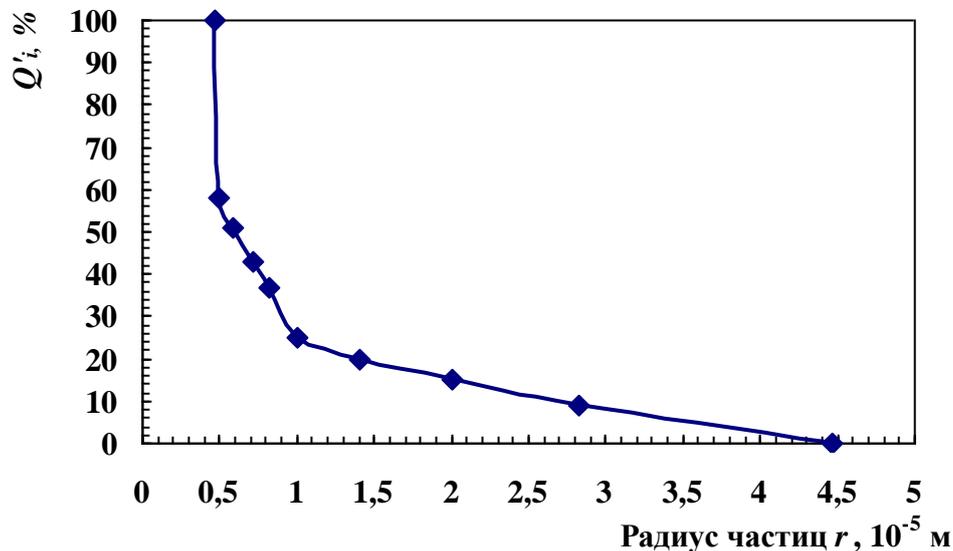


Рис.7 – Интегральная кривая распределения частиц талька в воде

Интегральная кривая распределения позволяет определить процентное содержание фракций, которое можно рассчитать по следующей зависимости: $\Delta Q'_i = Q'_i - Q'_{(i-1)}$, где $i = 1 \dots 9$. $\Delta Q'_i$ также можно определить непосредственно из кривой седиментации. Она равна длине отрезков, отсекаемых соседними касательными по оси ординат.

Варианты заданий

Экспериментальные данные седиментации порошка в жидкой дисперсионной среде.

Вариант 1 (22)

τ , минут	0,5	1	2	4	5	8	12	16	20
m_i , мг	8	11	16	21	24	30	36	40	45

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2720$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 45$ мг.

Вариант 2 (23)

τ , минут	0,5	1	2	4	6	8	12	16	20
m_i , мг	2	11	18	23	28	33	39	46	51

Условия опыта: $h = 0,1$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,5 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 3180$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 980$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 51$ мг.

Вариант 3(24)

τ , минут	0,5	1	2	3	5	8	10	12	15
m_i , мг	6	8	10	12	14	17	18	19	20

Условия опыта: $h = 0,1$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 1890$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 880$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 20$ мг.

Вариант 4(25)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	6	15	31	41	51	63	70	75	80

Условия опыта: $h = 0,08$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2640$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 820$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 80$ мг.

Вариант 5(26)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	20	25	30
m_i , мг	5	10	14	20	25	30	36	38,5	40

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2580$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 930$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 40$ мг.

Вариант 6 (27)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2	11	33	51	60	70	73	75	80

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2640$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 80$ мг.

Вариант 7(28)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2	11	33	51	60	70	73	75	77

Условия опыта: $h = 0,1$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2120$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1060$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 77$ мг.

Вариант 8(29)

τ , минут	0,5	1	2	4	5	8	12	16	20
m_i , мг	7	12	16	21	23	30	36	40	45

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2720$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 41$ мг.

Вариант 9(30)

τ , минут	0,5	1	2	4	6	8	12	16	20
m_i , мг	2,5	10	12	23	28	33	39	46	51

Условия опыта: $h = 0,1$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,5 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 3180$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 982$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 53$ мг.

Вариант 10(31)

τ , минут	0,5	1	2	3	5	8	10	12	15
m_i , мг	6	8	10	12	14	17	18	19	20

Условия опыта: $h = 0,12$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 1890$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 880$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 20$ мг.

Вариант 11(32)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	6	15	31	41	51	63	70	75	80

Условия опыта: $h = 0,18$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2640$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 820$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 82$ мг.

Вариант 12(33)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	20	25	30
m_i , мг	4	10	14	20	25	30	38	39	40

Условия опыта: $h = 0,11$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2580$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 930$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 46$ мг.

Вариант 13(34)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2	11	33	51	63	71	73	75	84

Условия опыта: $h = 0,2$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,3 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2644$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 87$ мг.

Вариант 14(35)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2,4	10,6	33	51	60	70	73	75,8	78

Условия опыта: $h = 0,13$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2120$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1060$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 72$ мг.

Вариант 15 (36)

τ , минут	0,5	1	2	4	5	8	12	16	20
m_i , мг	8	11	16	21	24	30	36	40	45

Условия опыта: $h = 0,19$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2720$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 60$ мг.

Вариант 16(37)

τ , минут	0,5	1	2	4	6	8	12	16	20
m_i , мг	2,9	10	18	23	28	33	39	44	51

Условия опыта: $h = 0,14$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,5 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 3180$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 980$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 51$ мг.

Вариант 17(38)

τ , минут	0,5	1	2	3	5	8	10	12	15
m_i , мг	6	8	10	12	14	17	18	19	20

Условия опыта: $h = 0,17$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 1890$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 880$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 20$ мг.

Вариант 18(39)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	6	15	31	41	51	63	70	75	80

Условия опыта: $h = 0,08$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2640$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 820$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 80$ мг.

Вариант 19(40)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	20	25	30
m_i , мг	5	10	14	20	25	30	36	38,5	40

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2580$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 930$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 40$ мг.

Вариант 20(41)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2	11	33	51	60	70	73	75	80

Условия опыта: $h = 0,09$ м, $\eta_{\text{среды}} = 1,1 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2640$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1000$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 80$ мг.

Вариант 21(42)

τ , минут	0,5	1	3	6	10	15	18	22	25
m_i , мг	2	11	33	51	60	70	73	75	77

Условия опыта: $h = 0,1$ м, $\eta_{\text{среды}} = 0,9 \times 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{порошка}} = 2120$ кг/м³, плотность дисперсионной среды $\rho = 1060$ кг/м³, $m_{\text{max}} = 77$ мг.

Задача 4. Расчёт удельной поверхности адсорбента

Цель работы: Освоение методики расчета удельной поверхности адсорбента по изотерме адсорбции паров твердым адсорбентом, с использованием линейного уравнения БЭТ.

Исходные данные:

В результате лабораторных исследований адсорбции азота на оксиде титана получены следующие данные

P/P_S	0,078	0,149	0,217	0,279	0,348
Величина адсорбции A , моль/кг	0,367	0,117	0,467	0,512	0,567

Постройте график, соответствующий линейному уравнению БЭТ.

Найдите предельную мономолекулярную адсорбцию (A_∞) и константу (C). Рассчитайте удельную поверхность адсорбента. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16 \times 10^{-20} \text{ м}^2$.

Пример решения задачи:

В линейной форме уравнение БЭТ имеет вид:

$$\frac{P/P_S}{A(1 - P/P_S)} = \frac{1}{A_\infty C} + \frac{C - 1}{A_\infty C} \cdot \frac{P}{P_S}$$

Рассчитываются значения $P/P_S / A(1 - P/P_S)$:

P/P_S	0,078	0,149	0,217	0,279	0,348
$P/P_S / [A(1 - P/P_S)]$	0,219	0,42	0,593	0,756	0,941

По этим данным строится график уравнения БЭТ в линейной форме

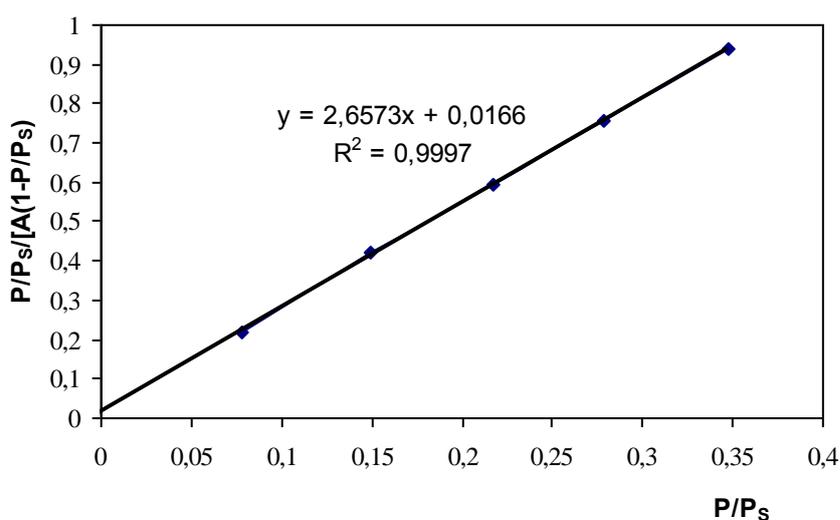


Рис. 8 Изотерма адсорбции азота в координатах линейной формы уравнения БЭТ

Из уравнения линии тренда $y = 2,6573 \cdot x + 0,0166$ или $y = b \cdot x + a$ находим:

$$a = \frac{1}{A_{\infty} C} = 0,0166, \quad b = \frac{C-1}{A_{\infty} C} = 2,6573$$

Откуда $C = 161,1$; $A_{\infty} = 0,374$ моль/кг

Удельная поверхность адсорбента в м²/кг рассчитывается по формуле:

$$S_{уд} = A_{\infty} N_A S_0$$

где N_A – число Авогадро (число молекул в моле.) $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ моль⁻¹

Таким образом, удельная поверхность адсорбента равна:

$$S_{уд} = 0,374 \times 6,02 \times 10^{23} \times 16 \times 10^{-20} = 36023,68 \text{ м}^2/\text{кг} \text{ или } \sim 36,02 \text{ м}^2/\text{г}$$

Варианты заданий

Вариант 1 (15) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,024	0,05	0,14	0,2	0,265
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0149	0,025	0,0472	0,0566	0,0663

Вариант 2 (16) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,05	0,12	0,2	0,3	0,4
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0031	0,006	0,008	0,011	0,0136

Вариант 3 (17) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,029	0,05	0,11	0,14	0,2
Величина адсорбции A , моль/кг	2,16	2,39	2,86	3,02	3,33

Вариант 4 (18) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,02	0,04	0,08	0,14	0,16	0,18
Величина адсорбции A , моль/кг	1,86	2,31	2,72	3,07	3,12	3,23

Вариант 5 (19) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,08	0,151	0,211	0,281	0,341
---------	------	-------	-------	-------	-------

Величина адсорбции A , моль/кг	0,369	0,464	0,472	0,516	0,568
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Вариант 6 (20) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,03	0,052	0,13	0,18	0,21
Величина адсорбции A , моль/кг	2,16	2,39	2,86	3,02	3,34

Вариант 7 (21) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,051	0,12	0,23	0,34	0,42
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0033	0,0061	0,009	0,0118	0,0138

Вариант 8 (22) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,024	0,05	0,14	0,2	0,265
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0149	0,025	0,0472	0,0566	0,0663

Вариант 9 (23) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,05	0,12	0,2	0,3	0,4
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0031	0,006	0,008	0,011	0,0136

Вариант 10 (24) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,029	0,05	0,11	0,14	0,2
Величина адсорбции A , моль/кг	2,16	2,39	2,86	3,02	3,33

Вариант 11 (25) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,02	0,04	0,08	0,14	0,16	0,18
Величина адсорбции A , моль/кг	1,86	2,31	2,72	3,07	3,12	3,23

Вариант 12 (26) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,08	0,151	0,211	0,281	0,341
Величина адсорбции A , моль/кг	0,369	0,464	0,472	0,516	0,568

Вариант 13 (27) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота. Площадь занимаемая одной молекулой азота $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,03	0,052	0,13	0,18	0,21
Величина адсорбции A , моль/кг	2,16	2,39	2,86	3,02	3,34

Вариант 14 (28) По приведенным данным рассчитайте (по уравнению БЭТ) удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола. Площадь занимаемая одной молекулой бензола $S_0 = 50 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

P/P_S	0,051	0,12	0,23	0,34	0,42
Величина адсорбции A , моль/кг	0,0034	0,0062	0,0091	0,0119	0,0139

Список рекомендуемой литературы

1. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З. Нефтяные дисперсные системы. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
2. Туманян Б.П. Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем. – М.: Техника, 2000 – 335 с.
3. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия: Учеб. Для университетов и химико-технолог. вузов. – М.: Высш.шк., 2004. – 445 с.
4. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия – СПб.: Издательство «Лань», 2004. – 336 с.
5. Практикум по коллоидной химии: Учебное пособие./ Под ред. М.И. Гельфмана. – СПб.: Издательство «Лань», 2005. – 256 с.
6. Битумные материалы. /Под ред. Хойберга А.Д. – М.: Химия, 1974. – 248 с.
7. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. – М.: Химия, 1973. – 429 с.
8. Капустин В.М., Сюняев З.И. Дисперсные состояния в каталитических системах нефтепереработки. – М.: Химия, 1992. – 151 с.
9. Нефёдов Б.К., Радченко Е.Д., Алиев Р.Р. Катализаторы процессов глубокой переработки нефти. – М.: Химия, 1992 – 272 с.
10. Антошкин А.С., Фищук Г.Ф. Определение активного состояния нефтяных дисперсных систем.// Химия и технология топлив и масел, 1987, №1, с.26-29.

11. Ткачёв С.М. Адсорбционные процессы в нефтепереработке. Учебно методическое пособие по курсу «Технология переработки нефти и газа» для студентов дневного и заочного отделений специальности 2504, 1994, 57с.

12. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Физико-химическая механика дисперсных систем» // Составление и общ. редакция Ермака А.А., 2007, 490 с.

13. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Технология переработки нефти и газа. Процессы глубокой переработки нефти и нефтяных фракций» для студентов специальности 1-48 01 03. // Составление и общ. редакция Ткачева С.М., 2007. Часть 1.