

УДК 661.29:547.279.3

DOI 10.52928/2070-1616-2026-54-2-74-83

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИМЕТИЛДИСУЛЬФИДА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ  
ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ БЕЛОРУССКОГО НПЗ**

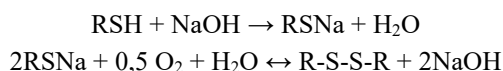
*д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА,  
П.Н. ПЛИСКИН*

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Представлены результаты моделирования химико-технологического процесса извлечения ценного серосодержащего соединения из побочного продукта установки очистки сжиженных углеводородных газов от меркаптанов окислением в присутствии катализаторного комплекса – дисульфидного масла, для условий белорусского НПЗ с получением в качестве целевого продукта диметилдисульфида, широко востребованного реагента в нефтепереработке и нефтехимии. Подобрано требуемое технологическое оборудование и определены его оптимальные рабочие параметры с целью выпуска товарного продукта марки А высокой степени чистоты 99,5% масс., при глубине извлечения диметилдисульфида из дисульфидного масла на уровне 99,72% масс. и производительности по целевому продукту около 100 т/год, что на 50% обеспечит требуемый годовой объем потребления в Республике Беларусь и наполовину решит проблему импортозамещения. Производство на белорусском НПЗ диметилдисульфида с использованием сырья некалассифицированного применения позволит расширить ассортимент белорусских химических реагентов и получить экономический эффект.*

**Ключевые слова:** *химико-технологический процесс, дисульфидное масло, диметилдисульфид, моделирование, нефтепереработка, нефтехимия, импортозамещение.*

**Введение.** Направления совершенствования технологических процессов углубления и переработки нефти, повышения качества товарных нефтепродуктов, в т.ч. с получением из них ценных соединений<sup>1</sup> [1–16]. В частности, на блоке очистки сжиженных углеводородных газов от меркаптанов белорусского НПЗ образуются более 400 т/год побочного серосодержащего продукта – дисульфидного масла (ДСМ), состоящего из низкомолекулярных диалкилдисульфидов, обезвреживание которых сопровождается высоким риском нарушения режима гидрогенизационных процессов на НПЗ [4; 5]. В основе образования побочного продукта (диалкилдисульфидов) лежит каталитическая реакция окисления меркаптидов натрия кислородом воздуха до дисульфидов в процессе регенерации щелочного раствора катализаторного комплекса. При этом протекают следующие основные реакции [4; 5; 13]:



Как видно из приведенных выше реакций, побочным продуктом процесса является смесь органических диалкилдисульфидов R-S-S-R (диметилдисульфида (ДМДС), метилэтилдисульфида (МЭДС), диэтилдисульфида (ДЭДС) и др.), не производимых в Республике Беларусь и ежегодно закупаемых за рубежом. Годовой объем потребления только диметилдисульфида в Республике Беларусь составляет около 200 т, а в России – около 2000 т [4; 5]. Наиболее перспективным к извлечению из дисульфидного масла компонентом является диметилдисульфид, который является ценным химическим реагентом и широко используется<sup>1</sup> [1–16]:

– в нефтепереработке: для активации катализаторов гидрогенизационных процессов – гидроочистки и гидрокрекинга, гидродисульфуризации и других (для перевода активных центров из оксидной формы в сульфидную), выступая сульфидирующим агентом для осернения катализаторов, имеющих низкую температуру разложения на CoMo, NiMo, NiW и т.п.; использование ДМДС в нефтепереработке значительно уменьшает время выхода установок на режим, при этом увеличивается начальная активность катализатора и цикл между регенерациями установок;

– в нефтехимии в качестве ингибитора коксообразования в змеевиках печей пиролиза, увеличивая межремонтный пробег печей пиролиза и выход олефинов; для удаления отложений в теплообменном оборудовании и оборудовании для разделения продуктов;

– в металлургии – для борьбы с коррозией;

– в прочих процессах: как одорант природного газа (нижний порог раздражающего действия – 110 мг/м<sup>3</sup>); как тиометилирующий агент в органическом синтезе; как промежуточный продукт при производстве инсектицидов и др.

<sup>1</sup> Патент на изобретение RU 2622046 C1. Способ получения диалкилдисульфидов: № 2016127119; заявлено 05.07.2016 / Машкина А.В., Хайрулина Л.Н. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2622046C1/ru> (дата обращения: 02.04.2026).

Анализ дисульфидного масла, производимого на белорусском НПЗ, показал, что его основными компонентами являются: 26–30% масс. диметилдисульфида, 43–46 % масс. Метилэтилдисульфида и 24–26% масс. диэтилдисульфида; суммарное содержание алкилдисульфидов составляет около 98% масс.

В таблице 1 приведены требования к показателям качества товарного продукта ДМДС марок А и Б, а также некоторые фактические свойства для дисульфидного масла белорусского НПЗ.

Таблица 1. – Требования к показателям качества товарного продукта, а также фактические свойства побочного продукта

Показатель	Дисульфидное масло (фактическое значение)	ДМДС марка А	ДМДС марка Б
Содержание ДМДС, % масс., не менее	26,95	99,5	99,0
Содержание метилмеркаптана, % масс., не более	–	0,1	0,1
Содержание серы, % масс., не менее	65,5	68,0	68,0
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,045	1,050–1,070	1,050–1,070
Содержание воды, ppm, не более	300	600	600

Основными производителями диметилдисульфида являются такие компании, как: Arkema France S.A., Chevron Phillips Chemicals Company, ООО «Газпром добыча Оренбург», Acros Organics B.V.B.A., Alfa Aesar, Johnson Matthey Company, Finetech Industry Limited, 3WAY PHARM INC., Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Shandong Taihe Chemicals и др. Аналитики прогнозируют среднегодовой темп роста мирового рынка диметилдисульфида на уровне 5%. В Республике Беларусь ДМДС не производится, закупается за рубежом по цене до 4500 долл. США за 1 т.

В связи с этим исследования по извлечению из побочных продуктов нефтепереработки высоколиквидного продукта – диметилдисульфида – с доведением его до товарной формы является актуальным научным направлением, что и определило *цель настоящего исследования*.

**Методы исследования.** Выполнено моделирование химико-технологического процесса выделения диметилдисульфида из дисульфидного масла для условий белорусского НПЗ при помощи математических методов, системного анализа и информационных технологий, а именно: программного моделирующего пакета UniSim Design R460.1, в т.ч. модуля расчета пластинчатых теплообменников UniSim Design PHE R460.1 и модуля расчета кожухотрубчатых теплообменников UniSim Design STE R460.1.

**Результаты и их обсуждение.** Технологический процесс производства товарного диметилдисульфида предполагает внедрение трех дополнительных операций с расширением существующего производства: осушки сырья (дисульфидного масла), ректификации сырья и отгрузки товарного продукта – диметилдисульфида. Схемы основных расчетных моделей химико-технологического процесса выделения диметилдисульфида из дисульфидного масла для условий белорусского НПЗ приведены на рисунках 1–4.

Описание предлагаемой технологической схемы химико-технологического процесса выделения диметилдисульфида из побочного продукта установки очистки сжиженных углеводородных газов от меркаптанов для условий белорусского НПЗ следующее: дисульфидное масло от центробежных насосов 802-P08/A, В установки поступает в резервуар Р-1 блока выделения ДМДС. Из резервуара Р-1 насосами Н-1/A, Б дисульфидное масло подается в адсорбер А-1/A (А-1/Б), в котором по мере прохождения сквозь слой адсорбента сверху вниз происходит удаление из дисульфидного масла следовых количеств раствора катализаторного комплекса, углеводородов и воды (остаточное содержание в ДСМ 0,03% масс.) с использованием в качестве осушителя активного угля. Регенерация активного угля не предусматривается ввиду ее высокой стоимости и низкой эффективности данного процесса – экономически выгоднее производить замену адсорбента на новый. Срок службы адсорбента составляет около 3 месяцев и уточняется в процессе эксплуатации. Далее очищенное сырье через сетчатый жидкостной фильтр Ф-1/A (Ф-1/Б), предназначенный для улавливания механических примесей в виде угольной пыли, направляется в рекуперативный пластинчатый теплообменник Т-1, где подогревается за счет тепла фракции тяжелых дисульфидов, подаваемых насосами Н-3/A, Б из куба колонны К-1, после чего поступает в среднюю часть колонны К-1 на 3-й сверху пакет нерегулярной насадки.

В колонне К-1 предполагается разделение дисульфидного масла на диметилдисульфидную фракцию (ДМДС) с высокой степенью чистоты товарного продукта марки А (99,5% масс. основного компонента), отбираемую из емкости орошения в качестве целевого продукта, и фракцию тяжелых дисульфидов, отбираемых из куба колонны. В колонне предполагается размещение 4 пакетов нерегулярной металлической насадки типа колец Палля, на которых происходит фракционирование за счет контакта паров, поднимающихся вверх по колонне, со стекающей вниз жидкой флегмой. Пары с верха колонны К-1 конденсируются в водяном кожухотрубчатом холодильнике-конденсаторе ХК-1 и поступают в емкость орошения Е-1. Из рефлюксной емкости Е-1 насосами Н-2/A, Б фракция ДМДС подается на орошение в колонну К-1 на верхний (1-й) пакет насадки; балансовое количество фракции ДМДС от насосов Н-2/A, Б поступает в резервуар хранения ДМДС Р-2.

Откачка фракции ДМДС из резервуара Р-2 потребителям осуществляется насосами Н-4/A, Б.



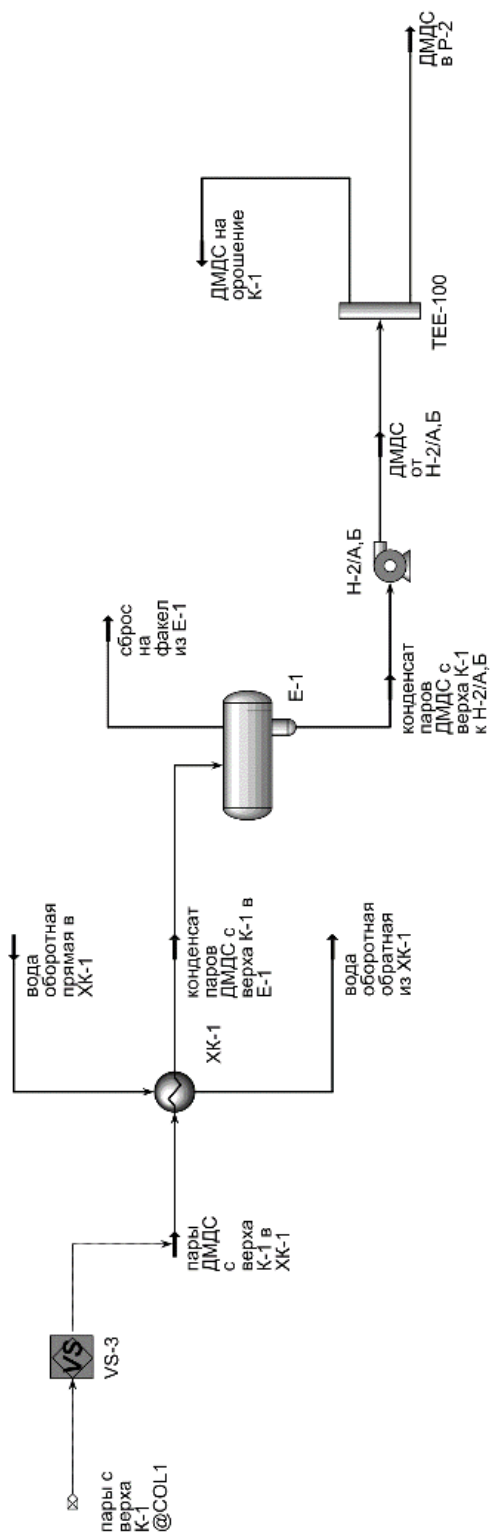


Рисунок 2. – Схема расчетной модели конденсации паров с верха колонны К-1

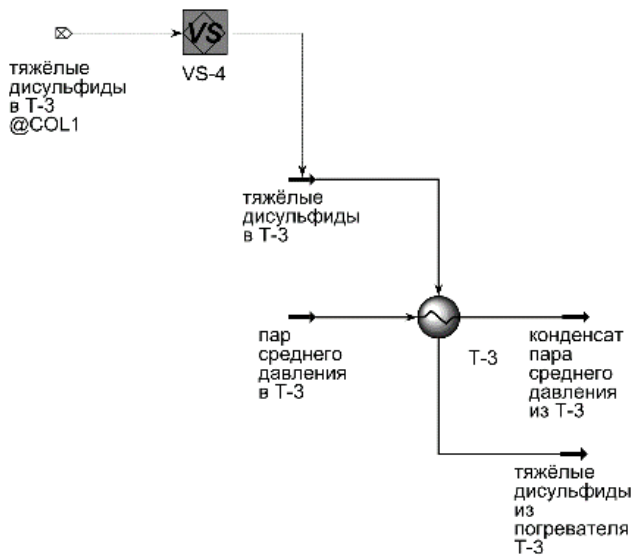


Рисунок 3. – Схема расчетной модели подогревателя Т-3

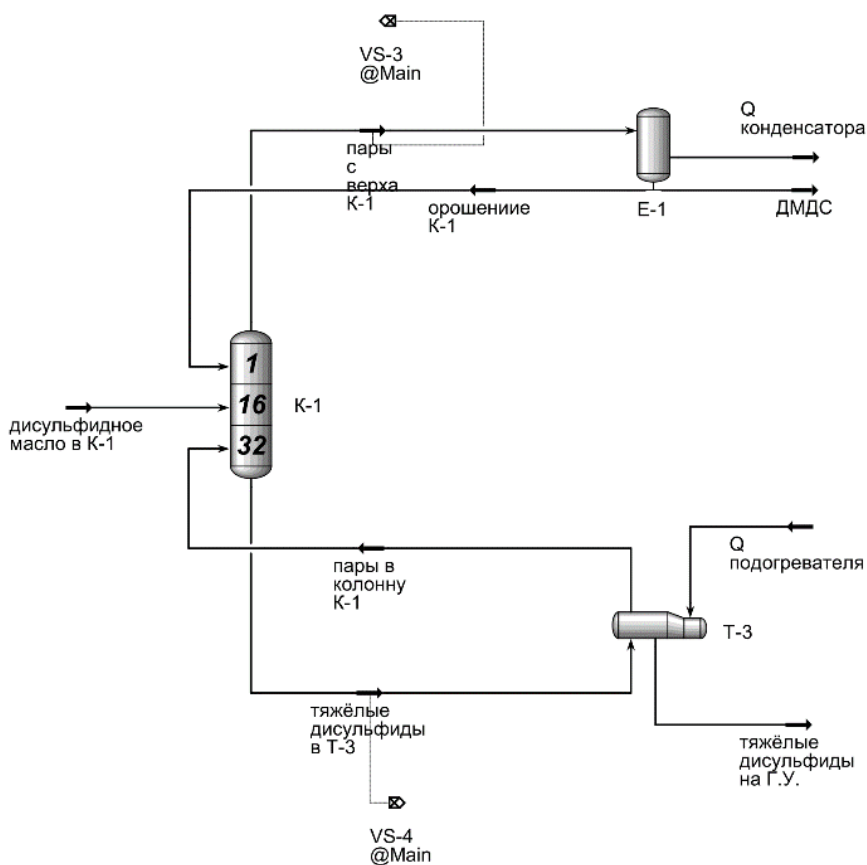


Рисунок 3. – Схема расчетной модели колонны К-1

Фракция тяжелых дисульфидов из куба колонны К-1 поступает в межтрубное пространство ребойлера Т-3, где частично испаряется за счет тепла водяного пара, поступающего в трубное пространство указанного аппарата. В качестве теплоносителя для подвода тепла в куб колонны К-1 через подогреватель Т-3 предполагается использовать пар среднего давления ( $P_{\text{РАБ}} = 1$  МПа изб.,  $t_{\text{РАБ}} = 185$  °С). Пары из парового пространства ребойлера Т-3 возвращаются в колонну К-1 под нижний (4-й) пакет насадки. Жидкая фаза из ребойлера Т-3 насосами Н-3/А,Б подается в рекуперативный теплообменник Т-1, где охлаждается, отдавая тепло потоку сырья – дисульфидного масла, затем – в пластинчатый водяной холодильник Т-2, где охлаждается до температуры не выше 40 °С, и поступает в резервуар хранения фракции тяжелых дисульфидов Р-3. Из резервуара Р-3 фракция тяжелых дисульфидов насосами Н-5/А,Б подается в линию вакуумного дизельного топлива, поступающего на установки гидроочистки. Хранение дисульфидного масла, фракции ДМДС и фракции тяжелых дисульфидов в резервуарах Р-1, Р-2, Р-3 соответственно предполагается осуществлять под азотной подушкой (под избыточным давлением 2,0 кПа) (после кланов-регуляторов из линии азота низкого давления установки). Технологической схемой предусмотрен обогрев резервуаров Р-1, Р-2, Р-3 для поддержания температуры внутри них не менее +5 °С в холодный период.

При норме рабочего времени установки 8000 ч/год требуемый объем резервуара Р-1 для хранения годового запаса дисульфидного масла составит 400 м<sup>3</sup> (с учетом коэффициента заполнения, равного 0,8). Для хранения дисульфидного масла принят стальной вертикальный резервуар номинальным объемом 500 м<sup>3</sup> диаметром 8500 мм и высотой 9000 мм. Средний подпор на линии всасывания насосов Н-1/А,Б принят по высоте столба жидкости при 50%-м заполнении (взливе) равным 52,0 кПа с учетом давления азотной подушки.

Предполагается работа блока выделения ДМДС из дисульфидного масла продолжительностью 1 месяц в году, с часовой производительностью блока 0,528 м<sup>3</sup>/ч. Температура оборотной воды на входе в водяной холодильник Т-2 и водяной холодильник-конденсатор ХК-1 принята равной 28 °С (летний период), избыточное давление – 400 кПа. Расчет рекуперативного теплообменника Т-1 выполнен для зимнего периода, расчет водяного холодильника Т-2 и водяного холодильника-конденсатора ХК-1 – для летнего. Избыточное давление на нагнетании насосов Н-1/А,Б принято равным 550 кПа для преодоления гидравлического сопротивления трубопроводов, адсорберов А-1/А,Б, фильтров Ф-1/А,Б и рекуперативного теплообменника Т-1. Избыточное давление на нагнетании насосов Н-2/А,Б принято равным 500 кПа для преодоления гидравлического сопротивления трубопроводов. Избыточное давление на нагнетании насосов Н-3/А,Б принято равным 450 кПа для преодоления гидравлического сопротивления трубопроводов, рекуперативного теплообменника Т-1 и водяного холодильника Т-2. Избыточное давление на нагнетании насосов Н-4/А,Б, Н-5/А,Б принято равным 1000 кПа для преодоления гидравлического сопротивления трубопроводов, в т.ч. межцеховых. Перепад давления между потоками в пластинчатых теплообменниках Т-1, Т-2 не должен превышать 50–100 кПа, что также определяется принятыми значениями давления на линии нагнетания указанных насосов. В рамках модели блока насосы Н-1/А,Б, Н-2/А, Н-3/А,Б, Н-4/А,Б, Н-5/А,Б рассчитаны как центробежные с КПД в рабочей точке, равным 60%. Вследствие малых расходов перекачиваемых сред при реализации схемы предполагается использование мембранных насосов, обеспечивающих определенные расчетом параметры перекачиваемых сред. При расчете колонны К-1 в качестве спецификаций заданы: температура в емкости орошения Е-1 – 40 °С; содержание ДМДС в верхнем продукте (дистилляте) – 99,5% масс.; содержание ДМДС в кубовом продукте (остатке) – 0,1% масс. Температура дисульфидного масла на входе в колонну К-1 принята равной 70 °С. Избыточное давление в конденсаторе принято равным 100 кПа. Перепад давления на линии конденсации, по высоте колонны и подпор столба жидкости из куба колонны К-1 в подогреватель приняты равными 5 кПа. Избыточное давление в кубе колонны К-1 предварительно принято равным 110 кПа. К расчету принята схема полной конденсации паров с верха колонны К-1 ввиду предполагаемого отсутствия в сырье компонентов, не конденсирующихся при рабочих условиях емкости орошения Е-1. Для оценки вариантов работы колонны К-1 произведена серия расчетов с помощью элемента shortcut по уравнениям Фенске–Андервуда с различным количеством теоретических ступеней и кратностью орошения в интервале 3...6 при фиксированных требованиях к качеству получаемых продуктов.

Результаты подбора числа ступеней разделения дисульфидного масла в колонне К-1 представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты подбора числа ступеней разделения дисульфидного масла в колонне К-1

Параметр	Количество ступеней, шт.					
	28	30	32	34	36	38
Ступень подачи сырья	14	15	16	17	18	19
Требуемая кратность орошения	6,558	5,300	4,513	3,974	3,595	3,314
Содержание ДМДС в дистилляте, % масс.	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
Содержание ДМДС в кубовом продукте, % масс.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Тепловая нагрузка конденсатора, кДж/ч	573471	477978	418309	377433	348639	327345
Тепловая нагрузка подогревателя, кДж/ч	638294	542770	483124	442240	413449	39215

Наиболее оптимальным с точки зрения количества ступеней (соответственно, габаритов и металлоемкости колонны) и затрат на фракционирование принят вариант с 32 ступенями. В качестве контактных устройств в колонне К-1 приняты 4 слоя нерегулярной металлической насадки «кольца Палля» типоразмера 1” (25,0 мм). Нумерация слоев – сверху вниз. Подача сырья осуществляется в среднюю часть колонны К-1 на 3-й слой насадки. Расчетная высота, эквивалентная теоретической тарелке (ступени) (ВЭТТ), для колец Палля типоразмера 1” (25 мм) верхнего (1-го) слоя составляет 0,4156 м, 2-го слоя – 0,4272 м, 3-го слоя – 0,4438 м, 4-го слоя – 0,4495 м. Таким образом, расчетная высота 1-го слоя составляет 3,4 м, 2-го – 3,4 м, 3-го – 3,6 м, 4-го – 3,6 м.

Результаты расчета ректификационной колонны К-1 представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты расчета ректификационной колонны К-1

Параметр		Ед. изм.	Значение
Расход	Дисульфидное масло в К-1	кг/ч	570,032
		м <sup>3</sup> /ч {1}	0,574
	Пары с верха колонны К-1	кг/ч	833,778
		м <sup>3</sup> /ч {1}	139,441
	Орошение в К-1	кг/ч	682,535
		м <sup>3</sup> /ч {1}	0,659
	ДМДС (балансовое количество в Е-2)	кг/ч	151,243
		м <sup>3</sup> /ч {1}	0,146
	Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) в подогреватель Т-3	кг/ч	1928,019
		м <sup>3</sup> /ч {1}	2,183
Пары из Т-3 под нижний слой насадки	кг/ч	1509,230	
	м <sup>3</sup> /ч {1}	223,025	
Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) к Н-3/А,Б	кг/ч	418,789	
	м <sup>3</sup> /ч {1}	0,477	
Давление	Дисульфидное масло в К-1	кПа (изб.)	570,0
	Пары с верха колонны К-1	кПа (изб.)	105,0
	Орошение в К-1	кПа (изб.)	100,0
	ДМДС (балансовое количество в Е-2)	кПа (изб.)	100,0
	Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) в подогреватель Т-3	кПа (изб.) {2}	115,0
	Пары из Т-3 под нижний слой насадки	кПа (изб.)	110,0
	Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) к Н-3/А,Б	кПа (изб.)	110,0
Температура	Дисульфидное масло	°С	70,0
	Пары с верха колонны К-1	°С	137,143
	Орошение в К-1	°С	40,0
	ДМДС (балансовое количество в Е-2)	°С	40,0
	Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) в подогреватель Т-3	°С	168,312
	Пары из Т-3 под нижний слой насадки	°С	169,506
	Кубовый продукт (тяжелые дисульфиды) к Н-3/А,Б	°С	169,506
Кратность верхнего (острого) орошения		–	4,513
Кратность парового орошения		–	3,603
Тепловая нагрузка конденсатора (ХК-1)	кДж/ч	418274	
	кВт	116,187	
Тепловая нагрузка подогревателя (Т-3)	кДж/ч	483099	
	кВт	134,194	

{1} фактический объёмный расход в рабочих условиях

{2} с учетом подпора столба жидкости

Гидравлическая характеристика внутренних устройств колонны К-1 представлена в таблице 4.

Таблица 4. – Гидравлическая характеристика колонны К-1

Параметр	Секция (слой насадки)			
	1	2	3	4
Расчетный минимальный диаметр секции, м	0,4572	0,4572	0,4572	0,4572
Расчетная высота, м	3,324	3,418	3,550	3,596
Расчетный фактор захлебывания, %	27,00	34,67	35,71	35,94
Расчетный перепад давления, кПа	0,194	0,326	0,359	0,368
Отношение диаметр кольца (25 мм) / диаметр секции	18,288	18,288	18,288	18,288
Отношение высота насадки / диаметр секции	7,270	7,476	7,765	7,865

Анализ гидравлических характеристик внутренних устройств колонны К-1 позволил определить расчетный диаметр колонны, который составил 457,2 мм (ближайший больший номинальный диаметр – 500 мм). Расчетная высота колонны составила 17,0 м с учетом юбки, эллиптических днищ и распределительных устройств.

Аналитическому контролю подлежит значение концентрации 99,5% масс. диметилдисульфида в дистилляте и 0,1% масс. диметилдисульфида в составе кубового продукта (фракция тяжелых дисульфидов). Фактический перепад давления по высоте колонны составил 1,247 кПа. Расчетная глубина извлечения ДМДС из дисульфидного масла – 99,72% масс.

В качестве рекуперативного теплообменника Т-1 предполагается использовать теплообменный аппарат пластинчатого типа из нержавеющей стали. Результаты проектного расчета пластинчатого теплообменника Т-1 позволили установить его основные характеристики: коэффициент теплопередачи – 458 Вт/(м<sup>2</sup>·К); тепловая нагрузка – 15,37 кВт; размеры пластины – не менее 563,5×132,5 мм; количество пластин – 7; площадь пластины – 0,0747 м<sup>2</sup>; суммарная площадь теплообменной поверхности – 0,52 м<sup>2</sup>; среднелогарифмическая разность температур – 85 °С. По потоку тяжелых дисульфидов гидравлическое сопротивление составило 2,01 кПа, максимальная скорость потока – 0,11 м/с; по потоку дисульфидного масла гидравлическое сопротивление составило 3,33 кПа, максимальная скорость потока – 0,14 м/с.

В качестве водяного холодильника Т-2 также предполагается использовать теплообменный аппарат пластинчатого типа из нержавеющей стали. Результаты проектного расчета пластинчатого теплообменника Т-2 позволили установить его основные характеристики: коэффициент теплопередачи – 597 Вт/(м<sup>2</sup>·К); тепловая нагрузка – 10,08 кВт; размеры пластины 433,5 × 132,5 мм; количество пластин – 13; площадь пластины – 0,0574 м<sup>2</sup>; площадь теплообменной поверхности 0,75 м<sup>2</sup>, запас теплообменной поверхности 1,2%; среднелогарифмическая разность температур – 27 °С. По потоку тяжелых дисульфидов гидравлическое сопротивление составило 2,99 кПа, максимальная скорость потока – 0,1 м/с; по потоку оборотной воды гидравлическое сопротивление составило 3,63 кПа, максимальная скорость потока – 0,15 м/с.

В качестве подогревателя Т-3 предполагается использовать испаритель с паровым пространством (рибойлер) из нержавеющей стали с трубным пучком DN300 с U-образными трубами, длиной прямого участка, равной 3,5 м, и диаметром корпуса 800 мм. Размеры теплообменных труб: наружный диаметр – 25 мм, толщина стенки – 2,5 мм, шаг расположения в трубной решетке – 32 мм, способ расположения в трубной решетке – по вершинам квадрата (45°). Результаты проектного расчета рибойлера Т-3 позволили установить его основные характеристики: коэффициент теплопередачи – 695,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К); тепловая нагрузка – 134,19 кВт; минимальная площадь теплообменной поверхности (по прямым участкам теплообменных труб) – 11,35 м<sup>2</sup>; среднелогарифмическая разность температур – 15,5 °С. По межтрубному пространству (фракция тяжелых дисульфидов) гидравлическое сопротивление составило 2,39 кПа, максимальная скорость потока – 0,16 м/с; по трубному пространству (пар среднего давления / конденсат пара среднего давления) гидравлическое сопротивление составило 0,11 кПа, максимальная скорость потока – 1,58 м/с. Требуемый расход пара среднего давления в трубное пространство испарителя Т-3 составил 201,1 кг/ч.

Для конденсации и охлаждения паров с верха колонны К-1 предполагается использовать вертикальный кожухотрубчатый жесткотрубный водяной холодильник-конденсатор ХК-1 с линзовым компенсатором на корпусе. Материальное исполнение теплообменных труб, распределительной камеры и трубной решетки – нержавеющая сталь, материал корпуса – углеродистая сталь. Конструкция аппарата: одноходовой с условным диаметром корпуса 300 мм; длина прямого участка труб – 2,5 м; наружный диаметр труб – 25 мм; толщина стенки труб – 2,5 мм; шаг расположения труб в трубной решетке – 32 мм; способ расположения труб в трубной решетке – по вершинам треугольника (30°). Результаты проектного расчета холодильника-конденсатора ХК-1 позволили установить его основные характеристики: коэффициент теплопередачи – 143 Вт/(м<sup>2</sup>·К); тепловая нагрузка – 116,2 кВт; площадь теплообменной поверхности – 12,76 м<sup>2</sup>; среднелогарифмическая разность температур – 35,6 °С. По межтрубному пространству (оборотная вода) гидравлическое сопротивление составило 4,81 кПа, максимальная скорость потока – 0,14 м/с; по трубному пространству (пары / конденсат паров с верха колонны К-1) гидравлическое сопротивление составило 0,07 кПа, максимальная скорость потока – 1,9 м/с.

Расчетный объем емкости орошения Е-1 определен по величине расхода дистиллята в резервуар Р-2 и орошения в колонну К-1 от насосов Н-2/А,Б (суммарно – 0,81 м<sup>3</sup>/ч) с учетом коэффициента заполнения, равного 0,7, и составил 0,4 м<sup>3</sup>. Расчетный объем резервуара Р-2 определен по величине расхода дистиллята от насосов Н-2/А,Б (0,15 м<sup>3</sup>/ч) с учетом коэффициента заполнения, равного 0,8, и составил 200 м<sup>3</sup>. Расчетный объем резервуара Р-3 определен по величине расхода фракции тяжелых дисульфидов от насосов Н-3/А,Б после водяного холодильника Т-2 (0,41 м<sup>3</sup>/ч) с учетом коэффициента заполнения, равного 0,8, и составил 400 м<sup>3</sup>.

Также дополнительно выполнен анализ возможности применения двухколонной схемы выделения ДМДС из дисульфидного масла, в рамках которой в первой колонне (К-1) боковым погоном отбирается фракция ДМДС с чистотой порядка 95,0% масс. и далее поступает на питание второй колонны (К-2), в качестве верхнего продукта которой отбирается ДМДС марки А с содержанием 99,5% масс. основного веще-

ства. По результатам моделирования установлена технико-экономическая нецелесообразность применения двухколонной схемы выделения ДМДС из дисульфидного масла заданного состава, получаемого на белорусском НПЗ, ввиду малого расчетного расхода бокового погона ДМДС из колонны К-1, что в свою очередь влечет ряд проблем в части подбора оборудования, способного работать в оптимальном режиме при расчетной производительности.

**Заключение.** Моделирование химико-технологического процесса извлечения диметилдисульфида из побочных продуктов вторичных процессов переработки нефтяного сырья в условиях белорусского НПЗ с расширением производства позволило подобрать требуемое технологическое оборудование и определить его оптимальные параметры, а именно: одноклонный вариант ректификации дисульфидного масла с 4-мя слоями нерегулярной насадки типа «кольца Палля» типоразмера 1” (25,0 мм) с обеспечением требуемого качества получаемого диметилдисульфида для выпуска товарного продукта марки А с высокой степенью чистоты 99,5% масс.; теплообменные аппараты Т-1, Т-2, Т-3, ХК-1, которые справляются с расчетной нагрузкой в рамках рассматриваемого режима работы блока, а также объемы аппаратов Е-1, Р-2, Р-3. Глубина извлечения ДМДС из дисульфидного масла составит 99,72% масс. при проектной производительности блока порядка 100 т/год по целевому продукту – диметилдисульфиду марки А, что может на 50% обеспечить требуемый годовой объем потребления в Республике Беларусь и частично решить проблему импортозамещения.

Таким образом, производство на белорусском НПЗ диметилдисульфида с использованием сырья некалифицированного применения, благодаря достаточной сырьевой базе, позволит расширить ассортимент белорусских химических реагентов, получить востребованную импортозамещающую продукцию и достичь экономического эффекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко В.А. Технология выделения дисульфидного масла из щелочных эмульсий нефтегазоперерабатывающих заводов // *Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. / Астрахань (23–25 апр. 2025 г.). – Астрахань: Астрахан. гос. ун-т им. В.Н. Татищева, 2025. – С. 193–195. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=88947210>.*
2. Бойко В.А. Производство дисульфидного масла из меркаптанов СУГ // *Нефть и газ – 2025: тезисы докладов 79-й Междунар. молодеж. науч. конф. / Москва (21–25 апр. 2025 г.). – М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа (нац. исслед. ун-т) им. И.М. Губкина, 2025. – С. 630–631. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82979300>.*
3. Братищев А.В. Очистка нефтепродуктов от сернистых соединений // *Нефтепереработка и нефтехимия. – 2018. – № 5. – С. 34–38.*
4. Белорусские химические реагенты из отходов нефтепереработки / В.А. Глебоко, Ю.А. Булавка, и др. // *Переработка углеводородного сырья: проблемы и инновации – 2022: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Астрахань (10 нояб. 2022 г.). – Астрахань: Астрахан. гос. техн. ун-т, 2022. – С. 25–27. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50101576>.*
5. Глебоко В.А., Булавка Ю.А., Стальмах Д.В. Химический реагент из отходов нефтепереработки // *Новые горизонты – 2022: сб. материалов IX Белорус.-Китай. молодеж. инновац. Форума / Минск (10–11 нояб. 2022 г.) / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск: БНТУ, 2022. – Т. 1. – С. 27–28.*
6. Повышение качества сжиженных углеводородных газов и выделение ценных серосодержащих соединений на Оренбургском газоперерабатывающем комплексе / Ю.В. Лебедев, Д.В. Новиков, Д.С. Алексеев и др. // *Газовая промышленность. – 2025. – № S3(886). – С. 94–99.*
7. Сафронов К.К. Повышение эффективности переработки газового сырья (на примере процесса очистки пропан-бутановой фракции от сернистых соединений) // *Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 10. – С. 12–14.*
8. Машкина А.В., Хайрулина Л.Н. Каталитическое превращение нефтяных диалкилдисульфидов в диалкилсульфиды // *Нефтехимия. – 2018. – Т. 58, № 4. – С. 399–404.*
9. Сернистые соединения нефти – сырье для нефтехимии / Н.Г. Бажирова, А.М. Мазгаров, А.Ф. Вильданов и др. // *Технологии нефти и газа. – 2025. – № 2(157). – С. 3–9. DOI: 10.32935/1815-2600-2025-157-2-3-9*
10. Шарипов А.Х. Меркаптаны из газоконденсатов и нефтей // *Химия и технология топлив и масел. – 2002. – Вып. 4. – С. 50.*
11. Шарипов А.Х. Получение сероорганических соединений из природного углеводородного сырья (обзор) // *Нефтехимия. – 2004. – Т. 44, № 1. – С. 3.*
12. Исследование влияния узких фракций дисульфидного масла на степень растворения асфальтосмолопарафиновых отложений на теплообменном оборудовании Оренбургского газоперерабатывающего завода / К.П. Узун, Е.А. Чернышева, Т.А. Курякова и др. // *Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 58, № 6. – С. 130–137.*
13. Физико-химические характеристики субститутов дисульфидного масла углеводородного сырья / К.И. Дюсенгалиев, А.Т. Сагинаев, Д.К. Кулбатыров и др. // *Нефтегазовое дело. – 2016. – № 5. – С. 125–139. – URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5\\_2016/ogbus\\_5\\_2016\\_p125-139\\_DysangalievKI\\_ru.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2016/ogbus_5_2016_p125-139_DysangalievKI_ru.pdf)*
14. Рахимов Т.Х., Абдульминев К.Г., Мнушкин И.А. Получение товарных сернистых соединений // *Нефтегазовое дело. – 2015. – № 4. – С. 186–198. – URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/issues/4\\_2015/ogbus\\_4\\_2015\\_p186-198\\_RakhimovTH\\_ru.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/issues/4_2015/ogbus_4_2015_p186-198_RakhimovTH_ru.pdf)*
15. Исследование сырья для получения товарных сернистых соединений / Г.Н. Латыпова, Ю.Ф. Ситдикова, Т.Х. Рахимов и др. // *Нефтегазопереработка – 2016: междунар. науч.-практ. конф. / Уфа (???) – Уфа: ГУП «ИНХП РБ», 2016. – С. 32–33.*

16. Рахимов Т.Х., Абдульминев К.Г., Набиева А.Р. Варианты извлечения сернистых соединений из углеводородного сырья // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27, № 2. – С. 55–58.

Поступила 03.04.2026

**MODELING OF THE CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PROCESS  
OF EXTRACTION OF DIMETHYL DISULPHIDE FROM BY-PRODUCTS  
OF SECONDARY PROCESSES OF OIL REFINING OF BELARUSIAN OIL REFINERY**

**V. IVANOV, Y. BULAUKA, P. PLISKIN**  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The article presents the results of modeling a chemical-engineering process for extracting a valuable sulfur-containing compound from a by-product of a liquefied petroleum gas purification unit for removing mercaptans via oxidation in the presence of catalysts – disulfide oil – for a Belarusian oil refinery. The process yields dimethyl disulfide, a widely used reagent in oil refining and petrochemistry, as the target product. The required process equipment has been selected and its optimal parameters have been determined to produce a commercial grade A product with a high purity of 99.5% by weight, with a dimethyl disulfide extraction rate from disulfide oil of 99.72% by weight and a target product throughput of approximately 100 tons per year, which will meet the required annual consumption volume in the Republic of Belarus by 50% and half the import substitution problem. Dimethyl disulfide production at a Belarusian oil refinery using unqualified raw materials will expand the range of Belarusian chemical reagents and achieve economic benefits.*

**Keywords:** *chemical engineering process, disulfide oil, dimethyl disulfide, modeling, oil refining, petrochemistry, import substitution.*