

# А КАК РАССЧИТАНЫ ВАШИ СЕПАРАТОРЫ?

Демченко С. С., главный технолог АО «ИПН», demchenko@truboprovod.ru, Яицких Г. С., директор по развитию АО «ИПН», yaitskich@truboprovod.ru, Кулаков К. П., технический директор АО «ИПН», kulakov@truboprovod.ru, Пищида С. А., начальник УПР ООО «НОВАТЭК Усть-Луга», stanislav.pischida@novatek.ru

Разрабатывая проекты реконструкции построенных ранее технологических установок, специалисты АО «ИПН» сначала выполняют расчёты действующего технологического оборудования. Наряду с выявлением «узких мест» установки, практически всегда выявляются отдельные виды оборудования, которые были спроектированы с необоснованно излишним запасом по мощности – теплообменники, холодильники, колонны, сепараторы, что обуславливает нерационально завышенные затраты на строительство и эксплуатацию нефтеперерабатывающей установки. В этой статье раскрывается опыт рационального расчёта сепарационного оборудования.

**Д**вух- и трехфазные сепараторы являются одним из основных видов оборудования, которое используется в процессах подготовки нефти и газа, нефтепереработки, газопереработки, нефтехимии, газохимии, производства минеральных удобрений и т. д. Сложно представить себе процесс в химической технологии, в схеме которого не использовался хотя бы один сепаратор.

Несмотря на повсеместную распространенность данного вида оборудования, многие сепараторы работают с крайне низкой эффективностью или их размеры существенно превышают требуемые для процесса. Причин этих недостатков может быть много, но все начинается с расчета инженера-технолога.

Современная практика расчета и подбора сепараторов основана на принципах соблюдения определенного перечня требований к условиям проведения процесса разделения фаз и к конструкции отдельных узлов технологических аппаратов, которые определены экспериментально или на основе обобщения опыта эксплуатации.

Можно выделить несколько основных групп ограничений или правил, которые должен учитывать инженер-технолог при расчете сепаратора:

- процессные ограничения – связаны со спецификой технологического процесса или свойствами разделяемых фаз, например, пенящиеся жидкости, устойчивые эмульсии, объемное соотношение фаз и т. д.;
- габаритные ограничения – связаны с ограничениями на диаметр и/или длину сепарационного оборудования, на минимальное и/или максимальное значение отношения длины к диаметру и т. д.;
- управление уровнем – процессом сепарации необходимо управлять, то есть обеспечить необходимый запас жидкости в сепараторе, который даст в нештатной ситуации оператору необходимое время на принятие решения; чтобы перевести процесс в безопасное состояние;

• конструктивные ограничения – связаны с необходимостью размещения внутри сепарационного оборудования различных элементов, например, сетчатых каплеотбойников, устройств ввода и т. д.

Таким образом, работа инженера-технолога по расчету и подбору сепаратора сводится к итерационному процессу, который заключается в проверке выполнения всех ограничений и правил, которые предъявляются к данному сепаратору при заданном диаметре и длине (см. рисунок 1).

Квалифицированный инженер-технолог выполнит расчет сепаратора за один рабочий день, проверив при этом до 5 различных вариантов конструкций. Но при этом остаются вопросы – является ли подобранная конструкция самой оптимальной или можно ли было сделать сепаратор меньше, а какова его реальная эффективность?

Вопросы остаются по причине того, что с одной стороны, инженер физически не может в разумные сроки рассмотреть все возможные соотношения диаметра и длины цилиндрической части сепаратора и учесть при этом все ограничения и правила. Даже, казалось бы, простая инженерная задача, как расчет объема жидкости в сепараторе по уровню залива, может потребовать очень много рабочего времени, если ее надо выполнить не для вертикальной цилиндрической обечайки, где можно обойтись формулой из школьного курса математики, а для горизонтального сепаратора и учесть при этом объем заполнения эллиптических крышек.

С другой стороны большинство существующих методик в виде ограничений и правил не дают ответа на вопрос эффективности работы сепаратора, они лишь предлагают им следовать и верить, что если все правила выполнены, то эффективность будет хорошая!

Внимательный читатель, хорошо знакомый с работой проектных организаций, смог для себя уже сделать один важный вывод – качество расчета и подбора сепаратора напрямую зависит от квалификации



Рисунок 1 – Алгоритм расчета сепаратора

инженера-технолога, его опыта и ответственности за результат. То есть даже в рамках одной компании качество расчета сепаратора будет отличаться от исполнителя к исполнителю.

За 30 лет работы АО «ИПН» принимало участие в большом количестве проектов по строительству технологических установок, выполненных отечественными и зарубежными Лицензиарами (или проектными компаниями). Накопленный опыт позволяет производить сравнение проектных решений не только принимаемых различными Лицензиарами, но и одним и тем же Лицензиаром, для одной и той же установки, но выполненные в разное время.

Для примера приведем результаты расчета работы емкостей орошения стабилизационных колонн установок гидроочистки бензина, выполненных по проекту авторитетной иностранной компании в 2011 и 2021 годах. В таблице 1 представлены основные характеристики и параметры работы емкостей орошения.

Таблица 1

№	Параметр	Ед. изм.	2011 год	2021 год	SEPSim
1	Диаметр аппарата	мм	2500	1800	1700
2	Длина цилиндрической части	мм	7500	5100	5600
3	Объем аппарата	м³	40,9	14,5	14,0
4	Расход паровой фазы	кг/ч	2171	2392	2171
5	Расход жидкой фазы	кг/ч	42689	40432	42689
6	Уровень жидкости:				
	LL		300	300	250
	L	мм	450	450	410
	H		1800	1350	1055
7	Время пребывания жидкости:				
	между уровнями LL-L	мин	1,7	1,3	1,0
	между уровнями L-H		22,6	5,2	5,0
8	Эффективность сепарации	%	100%	100%	100%
9	Унос жидкости газом	кг/ч	<0,02	<0,001	<0,02
10	Размер капель d50	мкм	14	19	21
11	Размер капель d100	мкм	34	48	56

*SEPSim – программа расчета и подбора сепарационного оборудования, используемая в АО «ИПН»*

Из данных таблицы 1 видно, что в разное время, для одной и той же позиции сепаратора на технологической схеме, при одинаковых нагрузках по пару и жидкости, иностранная компания применила сепараторы, отличающиеся по объему почти в три раза, но при этом имеющие одинаковую эффективность. Единственными разумными объяснениями случившегося могут быть только - человеческий фактор (аппараты проектировались разными инженерами компании) и отсутствие единства разрабатываемых проектных решений.

С целью никогда не допускать в своей работе таких ошибок, АО «ИПН» внедрило у себя программу по расчету и подбору сепарационного оборудования различной конструкции – SEPSim.

Программа SEPSim предлагает модульный подход к расчету сепараторов, который основан на разделении знаний о работе и конструкции сепаратора на отдельные категории с последующим их синтезом для поиска наиболее оптимального решения. SEPSim позволяет подобрать под требуемые параметры процесса сепаратор с минимальными размерами и оценить эффективность его

работы. То есть SEPSim берет на себя все математические расчеты, а у инженера-технолога остается больше времени на анализ и выбор наилучшего решения.

С помощью программы SEPSim АО «ИПН» выполнило расчет конструкции емкости орошения стабилизационной колонны для проекта 2011 года (см. таблицу 1). Результаты расчета подтверждают выводы АО «ИПН» о завышенных размерах емкости орошения в проекте 2011 года и о правильно подобранной конструкции в проекте 2021 года.

На еще одном примере АО «ИПН» покажет, как использование специализированного программного обеспечения SEPSim могло бы существенно снизить размеры сепаратора. На этот раз речь пойдет об отстойнике СУГ – Амин, который работает на одном из отечественных НПЗ. Назначение отстойника – разделение СУГ и раствора амина после водной промывки. Эскиз отстойника представлен на рисунке 2.

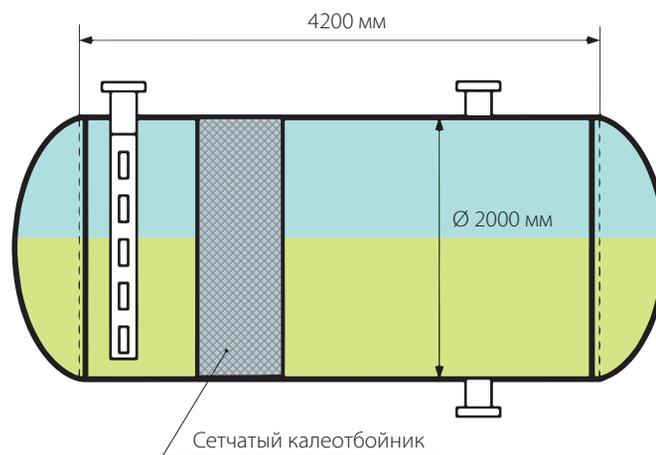


Рисунок 2 – Эскиз отстойника СУГ – Амин

В таблице 2 представлены результаты поверочного расчета отстойника СУГ – Амин.

Таблица 2

№	Параметр	Ед. изм.	Существующий аппарат	SEPSim
1	Диаметр аппарата	мм	2000	1300
2	Длина цилиндрической части	мм	4200	3400
3	Объем аппарата	м³	15,3	5,1
4	Расход СУГ	кг/ч	7982	7982
5	Расход раствора МДЭА	кг/ч	8300	8300
6	Уровень жидкости раствора МДЭА:			
	LL	мм	360	590
	L		520	690
	H		1320	1040
7	Время пребывания раствора МДЭА:			
	между уровнями LL-L	мин	9,1	3
	между уровнями L-H		55,1	12,1
8	Размер капель СУГ в растворе МДЭА	мкм	42	37
9	Размер капель МДЭА в СУГ	мкм	22	13

В ходе выполнения расчетов АО «ИПН» установило интересный факт – объем отстойника позволяет произвести в нем отделение капель жидкости размером 20-40 мкм, но при этом в конструкции предусмотрен сетчатый каплеуловитель, который также позволяет отделять капли размером 20-40 мкм. То есть в конструкции сепаратора применены сразу два технических решения с одинаковой эффективностью. Ошибка заключается в том, что если в конструкции отстойника предусматриваются какие-нибудь внутренние устройства для интенсификации процесса разделения жидкость-жидкость, то объем самого отстойника не надо считать на достижение такой же эффективности сепарации, иначе теряется весь смысл в применении внутренних устройств.

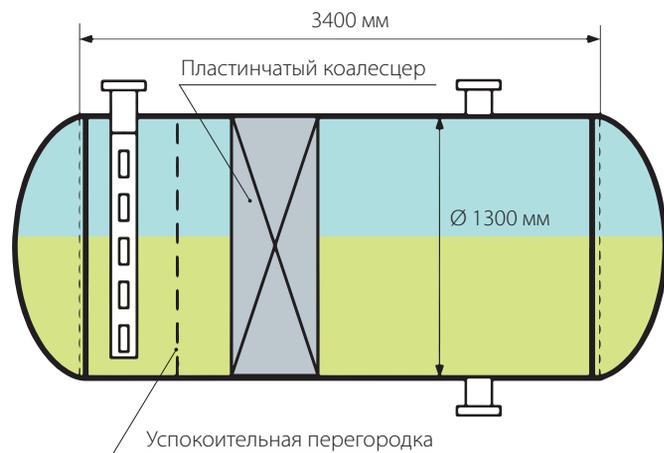


Рисунок 3 – конструкция отстойника АО «ИПН»

АО «ИПН» при помощи программы SEPSim выполнило подбор конструкции отстойника, которая обеспечивает требуемый уровень сепарации и при этом имеет минимальные размеры, результаты представлены в таблице 2. Для повышения степени сепарации в конструкции отстойника предусмотрены: успокоительная перегородка и пластинчатый коалесцер. Эскиз предлагаемой конструкции представлен на рисунке 3.

Из данных таблицы 2 видно, что конструкция АО «ИПН» имеет аналогичную эффективность с существующим аппаратом, но при этом объем сепаратора в три раза меньше.

Внедрение АО «ИПН» программы SEPSim для расчета сепараторов позволило:

- унифицировать решения по подбору конструкции сепарационного оборудования;
- исключить влияние человеческого фактора на разрабатываемые решения;
- сократить трудозатраты на подбор сепараторов с 8 до 1 часа (от начала расчета до получения опросного листа);
- предлагать Заказчикам сепараторы минимальных размеров – снижение капитальных затрат на реализацию проекта;
- сократить трудозатраты на выполнение проекта – сепараторы меньшего размера легче компоновать, они дают более низкую нагрузку на фундаменты;
- повысить безопасность разрабатываемых решений – сепараторы небольшого размера содержат в себе меньшее количество взрывопожароопасных веществ, а значит, позволяют сократить радиусы зон разрушений и возможный ущерб от аварии.

Москва, июль 2024 года