

УДК 66.045.1+661.634.2

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Рыщенко И.М., Арсеньева О.П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время проблема реконструкции существующего оборудования установок по производству фосфорной кислоты, расположенных по всему миру встала особенно остро. Такое положение дел можно объяснить следующими факторами глобального характера [1,2]:

- произошел резкий рост цен на фосфатную руду (особенно в 2008 г.) и, как следствие, на фосфорную кислоту и фосфатные удобрения (87 % всех производимых фосфатов);
- рост цен на зерновые культуры спровоцировал рост цен на фосфорную кислоту и удобрения;
- обозначилась мировая тенденция снижения качества фосфатной руды, что привело к увеличению выпуска низкосортных концентратов фосфорной кислоты;
- рост цен на энергоносители, что требует внедрения энергосберегающих технологий и повышения эффективности оборудования;
- ввод новых мощностей по производству фосфорной кислоты непосредственно на местах добычи фосфатной руды;
- появление новых экспортеров фосфорной кислоты и удобрений (Китай) сравнительно низкой стоимости.

Основная трудность заключается в том, что необходимо модернизировать технологию при низких инвестиционных затратах и практически без остановок производственного процесса, обеспечивая при этом повышение производительности и сохранение экологических норм. Мировой рост потребления минеральных удобрений требует увеличения выпуска сырья для их производства и, в первую очередь, фосфорной кислоты. Основным сырьем промышленности минеральных удобрений является экстракционная фосфорная кислота (ЭФК) и главным способом ее получения – сернокислородное разложение фосфатов.

Наиболее распространенным из экстракционных сернокислых способов получения фосфорной кислоты является дигидратный способ. Применяется также полугидратный и комбинированные способы, такие как дигидратно-полугидратный и полугидратно-дигидратный. Они различаются, прежде всего, по процессам кристаллизации сульфата кальция.

Изучение стандартной схемы получения ЭФК показывает, что главный путь увеличения выпуска кислоты, совершенствования и интенсификации процесса производства состоит в оптимизации условий разложения фосфатов и кристаллизации сульфата кальция в реакционном объеме. Это требует совершенствования технологического процесса и улучшения аппаратного оформления основного оборудования. Однако повышение требований к производству заставляют обратить внимание и на вспомогательное оборудование, такое как теплообменные аппараты, использующиеся в технологической цепочке в качестве подогревателей и охладителей продуктовых и вспомогательных потоков [3,4].

В настоящее время на большинстве химических производств существует устойчивая тенденция замены кожухотрубного теплообменного оборудования на пластинчатое. Такая замена приводит к существенной экономии средств в процессе эксплуатации, а также обеспечивает простоту в обслуживании и переналадке [5]. Кроме того, компактность пластинчатых теплообменников позволяет при их установке существенно экономить производственные площади и облегчает доступ к основному оборудованию.

Анализ общей принципиальной схемы производства ЭФК [6,7] показывает, что для схемы влажной экстракции пластинчатые теплообменные аппараты могут быть установлены на следующих позициях:

- охлаждение раствора нагретой серной кислоты (78–98 % H_2SO_4) – пластинчатый теплообменник;
- охлаждение слабokonцентрированной фосфорной кислоты (3%) после промывки осадка на фильтре – пластинчатый теплообменник;
- нагрев 30 % фосфорной кислоты перед сернокислым осаждением – спиральный или пластинчатый теплообменник;
- охлаждение фосфорной кислоты (конечного продукта) с концентрацией 40–42 % или 50–54 % P_2O_5 после выпаривания – пластинчатый или спиральный теплообменник;
- охлаждение скрубберной кислоты (8–11 % H_2SiF_6);
- выпаривание фосфорной кислоты;
- охлаждение воды, орошающей барометрические конденсаторы смешения в технологической схеме выпарной станции.

При установке пластинчатых теплообменников необходим корректный выбор материала пластин с учетом концентрации кислоты, ее температуры, количества и состава примесей. Присутствие Cl, F, H_2SO_4 уменьшают сопротивление металла пластин коррозии, наличие Fe и Al наоборот усиливают со-

противление. В любом случае для выбора пластинчатого или спирального аппарата очень важно знать содержание гипса в кислоте. На основе имеющегося опыта эксплуатации можно рекомендовать выбор материала теплопередающей поверхности: для кислоты с 50 % P_2O_5 при температуре < 85 °С, при наличии примесей 1% HF , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , 4% H_2SO_4 , 600 ppm HCl можно использовать 254 SMO. Для кислоты с 50 % P_2O_5 при температуре > 85 °С, при наличии выше приведенных примесей, желательно применять материал G30 или графит. В качестве материала прокладок – EPDM.

При работе аппаратов на нагреве-охлаждении фосфорной кислоты имеет место интенсификация загрязнения теплопередающей поверхности. Поэтому расчет теплообменников обязательно производится с запасом по коэффициенту теплопередачи не менее 10 % (margin 10 %) и при этом контролируется величина касательного напряжения на стенке пластины по стороне фосфорной кислоты $\tau > 50$ Па. Также следует заметить, что выбор большого запаса может привести к снижению скорости теплоносителей в каналах аппарата, и привести к усилению скорости появления отложений на поверхности пластин.

Процессы, протекающие в теплообменных аппаратах при производстве фосфорной кислоты, сопровождаются высоким риском выпадения на теплопередающей поверхности гипса и фторидов. При значительном содержании гипса рекомендуется устанавливать либо ширококанальный пластинчатый аппарат с широким каналом по стороне кислоты (Wide Gap), либо спиральный теплообменник.

Ширококанальный аппарат обязательно рассчитывается многоходовым для обеспечения рациональной скорости теплоносителей в каналах, что связано с необходимостью максимально учитывать вероятность высокой интенсивности загрязнения. Для этого расчет теплообменника обязательно производить с запасом по коэффициенту теплопередачи не менее 10 % (margin 10 %) и контролировать величину касательного напряжения на стенке пластин по стороне фосфорной кислоты не менее $\tau > 50$ Па.

При выборе спирального аппарата в качестве материала теплопередающей поверхности используют: AISI 316L, 904L, 254 SMO, Sanicro 28, C-276, G30 (в порядке возрастания); прокладки – MS2000 (клингерсил) или PTFE. Минимальный зазор между спиральями по обеим сторонам – 10 мм; фактор загрязнения – 0,001. Зазор равный по обеим сторонам дает возможность переключения сторон кислоты и воды для промывки. Водой можно чистить сторону кислоты, а кислотой растворять налет на поверхности пластин по стороне воды. В процессе проектирования спирального аппарата необходимо контролировать температуру стенки по стороне кислоты, не допуская увеличения скорости коррозии для горячего конца аппарата. Скорость по стороне кислоты должна быть выше 1 м/с (во избежание отложений на стенке) и ниже 1,5 м/с, так как при более высокой скорости величина коррозии очень резко возрастает.

Одним из наиболее существенных резервов при модернизации работающего завода является сокращения времени простоя установки, необходимого для очистки барометрических конденсаторов, снижения продолжительности циклов работы фильтра и повышения надёжности работы всего оборудования. Сокращение времени необходимого для чистки барометрических конденсаторов позволяет самым существенным образом увеличить производительность производства. Так, реконструкция фосфорнокислотной установки, проведенная бразильской компанией Ultrfert [1,2], благодаря сокращению времени простоя увеличила производительность с 300 до более чем 400 т/сут.

Таким образом, сокращение времени чистки барометрического конденсатора позволяет увеличить производительность основного производства фосфорной кислоты. Для этого предлагается устанавливать параллельно дополнительный пластинчатый барометрический конденсатор, который функционирует во время чистки основного, и тем самым обеспечивал безостановочную работу производства. Мощность дополнительного барометрического конденсатора предлагается выбирать такую же, как и у основного. В качестве аппаратной реализации предлагается использовать пластинчатый конденсатор, занимающий минимальную рабочую площадь и обеспечивающий высокую эффективность конденсации под вакуумом. Техническое обеспечение предложенной идеи и расчет пластинчатого барометрического конденсатора и составляют главную цель настоящей статьи.

В качестве барометрических конденсаторов современная практика все чаще предлагает использовать поверхностные конденсаторы вместо конденсаторов смешения. Это связано, прежде всего, с положительными сторонами такой замены, к которым можно отнести:

- установка пластинчатого конденсатора обеспечивает быстрое реагирование на изменения в системе барометрического конденсатора;
- экономия свежей воды;
- компактность установки, простота обслуживания и эксплуатации.

К недостаткам обычно относят загрязнение поверхности пластин в процессе эксплуатации, отвод неконденсирующихся газов и необходимость обеспечения малых потерь давления в аппарате, работающем под вакуумом. Рассмотрим расчет барометрического конденсатора для условий, представленных в табл. 1.

В качестве конденсатора под вакуумом рассчитаем аппарат марки AlfaCond серийно выпускаемы компанией «Альфа Лаваль», рис. 1. Системы AlfaCond специально разработаны для работы под вакуумом. Ввод пара имеет широкий канал, а выходы конденсата (2 вывода) – узкие каналы. Порты для подвода охлаждающей воды расположены в центральной части конденсатора и имеют каналы средней величины.



Рисунок 1 – Пластинчатый конденсатор AlfaCond

Пакет пластин установки AlfaCond состоит из пар пластин, сваренных вместе в кассеты. Такая конструкция позволяет реализовать два различных типа каналов: каналы внутри сваренной кассеты, используемые для конденсации пара, и каналы между прокладками кассет для движения охлаждающей воды. Специальная гофрировка пластин позволяет очень эффективно проводить конденсацию. При этом двухсторонняя гофрировка пластины имеет ассиметричную конфигурацию: с широкими каналами для паровой фазы и узкими каналами для охлаждающей воды. Подобная конструкция пластины дает возможность реализовать малый перепад давлений по паровой стороне при сохранении высокой скорости и турбулентности по стороне охлаждающей воды. Это, в свою очередь, приводит к высокой эффективности теплопередачи и снижает возможность загрязнения теплопередающей поверхности пластин.

Главными преимуществами аппаратов типа AlfaCond являются следующие факторы:

- снижение затрат за счет малой материалоемкости и экономия производственных площадей;
- пониженная склонность к загрязнению за счет высокой турбулентности потока охлаждающей воды, создаваемая специальной гофрировкой пластины, что в значительной степени уменьшает образование загрязнений и отложений.
- легкость обслуживания, в том числе возможность менять производительность путем изменения числа кассет;
- противоточная схема создает возможность охлаждения неконденсируемых газов лучше, чем при применении кожухотрубных аппаратов, что позволяет уменьшить загрузку на вакуумный насос.

В качестве материала пластины примем сплав Hastelloy G-30, толщина пластины равна 0,6 мм, резиновые прокладки марки EPDM. Исходные данные для проектирования поверхностного (пластинчатого) барометрического конденсатора представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования поверхностного (пластинчатого) барометрического конденсатора

Среда	Параметры				
	$t_{\text{вход}}, ^\circ\text{C}$ (пар)	$t_{\text{выход}}, ^\circ\text{C}$ (конденсат)	Расход, кг/ч	Предельные потери давления, кПа	Запас, %
Пар	47	38,7	5000	2,0	50
Охлаждающая вода	18	30	241500	30,0	50

В результате проведенных расчетов к установке может быть принят специальный пластинчатый конденсатор AlfaCond 600, с пластиной толщиной 0,6 мм, изготовленной из сплава Hastelloy G-30. Установка этого конденсатора объясняется, в первую очередь, большим расходом пара через присоединения. Специальный конденсатор AlfaCond 600 имеет коллектор по пару диаметром 600 мм и позволяет пропустить расход пара с приемлемой скоростью. Результаты расчета аппарата AlfaCond 600 представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Данные рассчитанного пластинчатого барометрического конденсатора

Марка теплообменника	Компоновка	Площадь теплообмена, м ²	Потери давления, кПа	
			Горячая сторона	Холодная сторона
Alfa Cond 600	1×43SW/ 1×42NG	60,2	1,9	24,6

Представленное моделирование узла барометрического конденсатора с кассетным пластинчатым теплообменником марки AlfaCond 600, с пластиной, изготовленной из сплава Hastelloy G-30, показывает возможность применения поверхностных конденсаторов не только вместо конденсаторов смешения, но и

в качестве дополнительного (резервного) барометрического конденсатора. Предложенное техническое решение применимо для реконструкции завода по производству экстракционной фосфорной кислоты и других предприятий, имеющих в составе технологического оборудования барометрический конденсатор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта "Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries" – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS.

Литература

1. Мировое производство и спрос на фосфатное сырье и минеральные удобрения // Мир серы, N, P и K.– 2008. – №2.– С. 8–16.
2. Fertilizer international.– 2008.–N 422.
3. Проблемы и перспективы технической модернизации заводов по производству фосфорной кислоты / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, Г.Л. ХАВИН // Интегрированные технологии и энергосбережение.– 2006.–№2. – С. 75–79.
4. Анализ применения пластинчатого теплообменного оборудования в процессе производства экстракционной фосфорной кислоты / П.А. Капустенко, А.Ю. Перевертайленко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева // Интегрированные технологии и энергосбережение.– 2008.–№2.– С. 130–145.
5. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЕВА. – Харьков: НТУ «ХПИ».– 2004.– 232 с.
6. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты.– Л.: Химия, 1981.– 224 с.
7. Технология фосфорных и комплексных удобрений / Под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского.– М.: Химия, 1987.– 452 с.

Bibliography (transliterated)

1. Mirovye proizvodstvo i spros na fosfatnoye syire i mineralnyie udobreniya. Mir seryi, N, P i K.– 2008.– #2.– P. 8–16.
2. Fertilizer international.– 2008.–N 422.
3. Problemyi i perspektivyi tehnicheckoy modernizatsii zavodov po proizvodstvu fosfornoj kislotyi. L.L. Tovazhnyanskyuy, P.A. Kapustenko, A.Yu. Perevertaylenko, G.L. Havin. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie.– 2006.– #2. – P. 75–79.
4. Analiz primeneniya plastinchatogo teploobmennogo oborudovaniya v protsesse proizvodstva ekstraktsionnoy fosfornoj kislotyi. P.A. Kapustenko, A.Yu. Perevertaylenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie.– 2008.–#2.– P. 130–145.
5. Plastinchatyye teploobmenniki v promyshlennosti. L.L. Tovazhnyanskyuy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – Harkov: NTU «HPI».– 2004.– 232 p.
6. Kopylev B.A. Tehnologiya ekstraktsionnoy fosfornoj kislotyi.– L.: Himiya, 1981.– 224 p.
7. Tehnologiya fosfornyih i kompleksnyih udobreniy. Pod red. S.D. Evenchika, A.A. Brodskogo.– M.: Himiya, 1987.– 452 p.

УДК 66.045.1+661.634.2

ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.О., ХАВИН Г.Л., РИЩЕНКО І.М., АРСЕНЬЕВА О.П.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАВОДІВ ПО ВИРОБНИЦТВУ ФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

Розглянуто проблему підвищення ефективності виробництва фосфорної кислоти за рахунок модернізації встановленого теплообмінного обладнання. Для зменшення простоїв виробництва при зупинці на чищення барометричного конденсатора запропоновано встановлювати паралельно пластинчастий конденсатор, що працює під вакуумом. Надано вибір і розрахунок пластинчастого касетного конденсатора AlfaCond виробництва «Альфа Лаваль».

Tovazhnyanskyuy L.L., Kapustenko P.O., Khavin G.L., Ryschenko I.M., Arsenyeva O.P.

MODERNIZATION OF HEAT TRANSFER EQUIPMENT FOR PHOSPHORIC ACID FACTORY RECONSTRUCTION

The problem of increasing the efficiency of phosphoric acid production by modernizing the set of installed heat exchange equipment is considered. To reduce the downtime of production process when stopping for barometric condenser cleaning, the installation of plate condenser, which works under vacuum, is proposed. A selection and calculation of the cassette plate condenser AlfaCond produced by "Alfa Laval" are under consideration.