

УДК 621

Совершенствование энерготехнологической системы производства экстракционной фосфорной кислоты

И.В. Кладов, А.Я. Шелгинский, А.С. Седлов, В.В. Галактионов
ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», Москва, Российская Федерация
E-mail: Kladviv@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Проблемы энергосбережения актуальны для всех отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Одним из направлений решения проблемы энергосбережения в промышленности является использование работы гравитационных сил на основе гладкостенных тепловых труб (термосифонов) вместо насосов с электроприводом, перемещающих промежуточные теплоносители.

Материалы и методы: Оценка энергетических потерь в производстве экстракционной фосфорной кислоты производится на основе теплового баланса.

Результаты: Рассматривается энерготехнологическая система производства экстракционной фосфорной кислоты. Разрабатывается новая энерготехнологическая система с эффективным регенеративным и внешним использованием тепловых вторичных энергоресурсов производства.

Выводы: Проведенный полный термодинамический анализ всей цепочки энергетических превращений, от исходного сырья до получения конечного продукта при производстве экстракционной фосфорной кислоты, показывает значительные возможности по сокращению потребления топливно-энергетических ресурсов на основе интенсификации технологических процессов и совершенствования тепловых схем. Сравнительный анализ термодинамической эффективности исходной и разработанной энерготехнологических систем показал, что 9,5 МВт теплоты, выделяемой в экстракторе, и 15,65 МВт теплоты с вторичным паром из выпарного аппарата эффективно можно реализовать в системе теплоснабжения предприятия.

Ключевые слова: энергосбережение, энерготехнологическая система, тепловые схемы, потери теплоты, термосифон, регенеративное и внешнее теплоиспользование, эффективность энергоиспользования, экономия энергоресурсов.

Power Technological System Improvement of Extractive Phosphoric Acid Production

I.V. KLADOV, A.YA. SHELGINSKY, A.S. SEDLOV, V.V. GALAKTIONOV
Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation
E-mail: Kladviv@mail.ru

Abstract

Background: Problems of energy saving are actual for all industries, housing, and communal services. One of the solutions to the energy-saving problem in industry is the usage of gravity forces on the basis of smooth-bore thermal pipes (thermosyphons) instead of pumps with the electric drive, which transport the intermediate heat carriers.

Materials and methods: Evaluation of energy losses in production of extractive phosphoric acid is made on the basis of thermal balance.

Results: In this article the power technological system of production of extraction phosphoric acid (ERA) is considered. The new power technological system with effective using of the regeneration process and secondary heat power resources (SHPR) is developed.

Conclusions: The complete thermodynamic analysis of all lines of energetic transformations, from the basic raw materials till the final product by ERA production, shows the considerable possibilities to reduce fuel and energy resources (PFR) on the basis of intensification of technological processes and improvement of thermal diagrams. The comparative analysis of thermodynamic efficiency of the initial and the developed power technological systems showed that 9,5 MW of the extracted heat and 15,65 MW of heat with secondary steam from the evaporating device can be efficiently used in the heat supply system at a factory.

Key words: energy saving, power technological system, thermal diagrams, heat losses, thermosyphon, regenerative and external thermal using, efficiency of power usage, energy resources economy.

Проблемы энергосбережения актуальны для всех отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Не исключением является и химическая промышленность [1, 2]. При рассмотрении вопросов повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в хими-

ческой отрасли необходимо учитывать, что энерготехнологические системы (ЭС) химических производств имеют ряд особенностей:

- являются совокупностью структурных элементов, которые одновременно производят и потребляют различные виды энергии;

- протекание различных процессов существенно различается как по температурным уровням, так и по давлениям;

- потребление теплоты характеризуется средне- и низкотемпературным уровнем энергоносителей, различным потенциалом энергоносителей, существенными различиями теплопотребления по количеству и потенциалу на отдельных ступенях производства.

При этом значительная часть низкопотенциальной теплоты практически на всех предприятиях химической промышленности выбрасывается в окружающую среду [1].

Базовым способом производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) как в России, так и в мировой промышленности является относительно простой и надежный в эксплуатации дигидратный способ [3]. Технологические схемы производства ЭФК дигидратным методом различаются в основном конструкциями применяемых экстракторов и фильтров, способами снятия избыточной теплоты в экстракторе, организацией рецикла пульпы. Тип перерабатываемого фосфатного сырья определяет температурно-концентрационный режим сернокислотной экстракции.

Тенденция дефицита и удорожания ТЭР заставляет искать пути максимального использования тепловой энергии в производстве экстракционной фосфорной кислоты, создания малоотходных энерготехнологических систем

на основе регенеративного и внешнего использования вторичных энергоресурсов (ВЭР). Проблема использования ВЭР, кроме чисто энергетических аспектов, практически всегда связана с решением и экологических задач.

Принципиальная схема производства ЭФК показана на рис. 1.

В разбавителе 92,5 %-ная серная кислота, поступающая со склада, разбавляется водой до 75 % и поступает в экстрактор. Количество серной кислоты, поступающей на разбавление, составляет около 36 т/ч, воды – 8–9 м³/ч.

В экстракторе 75 %-ная серная кислота H₂SO₄ взаимодействует с апатитовым концентратом, в результате чего происходит разложение апатитового концентрата с образованием фосфорной кислоты. Для поддержания заданной температуры в 110 °С в экстракторе используется струйный охладитель реакционной массы (СОРМ). За счет циркуляции значительной массы пульпы через СОРМ происходит распыление и испарение влаги в экстракторе, за счет чего температура пульпы снижается на 5 °С. Таким образом поддерживается необходимый температурный уровень.

Пары испаренной влаги поступают в абсорбер, где происходит абсорбция паров кислоты. Парогазовая смесь выбрасывается в атмосферу, а абсорбционная жидкость возвращается в экстрактор.

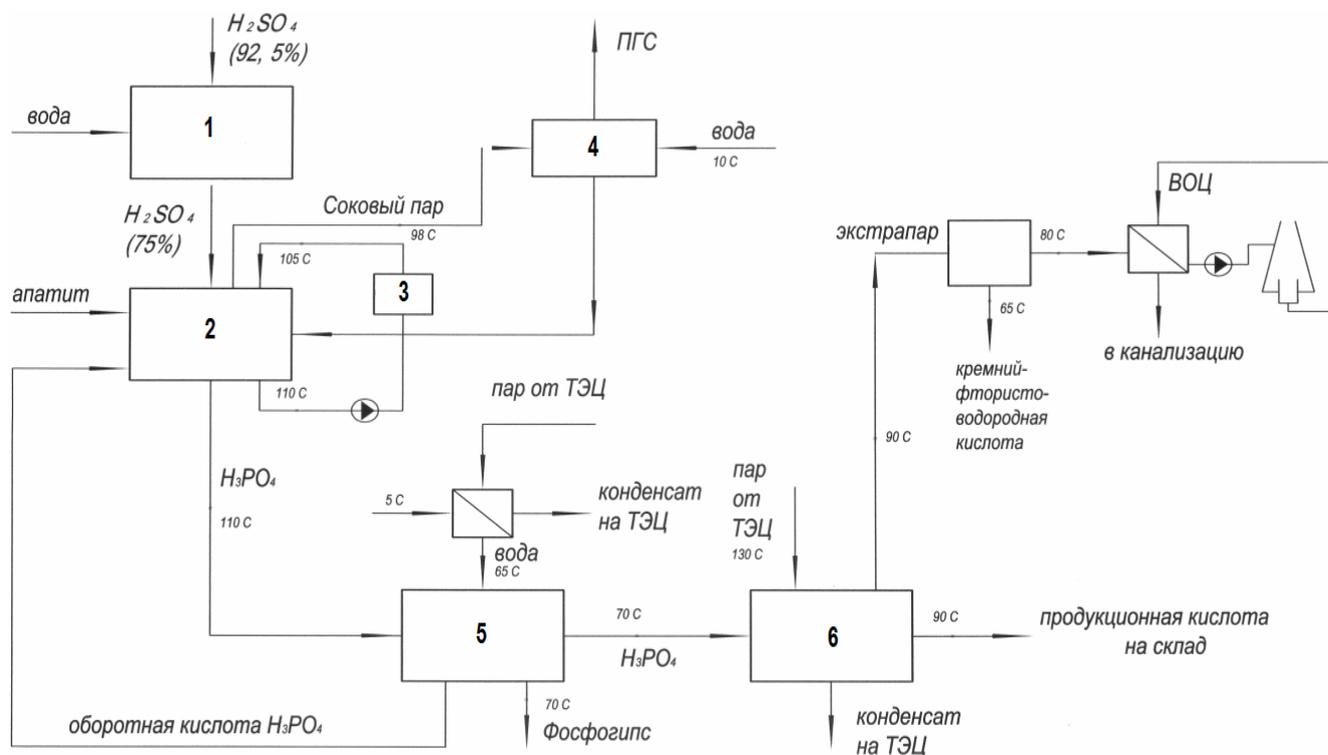


Рис. 1. Схема действующего производства экстракционной фосфорной кислоты: 1 – разбавитель H₂SO₄; 2 – экстрактор; 3 – СОРМ; 4 – абсорбер; 5 – вакуум-фильтр; 6 – выпарной аппарат

Из экстрактора пульпа, содержащая фосфорную кислоту концентрацией 29–30 % P_2O_5 , поступает на вакуум-фильтр, где из нее под вакуумом происходит вымывание фосфогипса. Одна часть кислоты с температурой 70 °С идет на упарку в выпарной аппарат, а другая часть возвращается в экстрактор для поддержания необходимой скорости химической реакции. Фосфогипс после промывки выгружается в специальные бункера. Для вымывания фосфогипса используется водопроводная вода, которая нагревается до 65 °С паром от ТЭЦ.

После вакуум-фильтра фосфорная кислота для повышения концентрации поступает в выпарной аппарат, где так же под вакуумом при температуре 90 °С происходит ее упаривание. Для упаривания фосфорной кислоты применяется пар давлением 0,15–0,22 МПа и температурой 126–136 °С. Давление пара должно быть не менее 0,6 МПа. Такое давление необходимо для нормальной работы эжекторных установок. Для поддержания необходимого давления и температуры на входе в подогреватель фосфорной кислоты установлены автоматические вентили, регулирующие заданное давление пара. Снижение температуры пара осуществляется путем впрыскивания конденсата в регулятор температуры с помощью конденсатного насоса.

Выпаренная влага в виде экстрапара температурой 85–90 °С поступает в промежуточный аппарат, где происходит выделение 3–4 %-ной кремний-фтористой кислоты H_2SiF_6 , после чего основная масса экстрапара с температурой 80 °С поступает в теплообменник, где с использованием водооборотного цикла охлаждается, конденсируется и поступает в канализацию для последующей очистки. Из выпарного аппарата 52 %-ная производственная фосфорная кислота с температурой 90 °С поступает на склад [3].

Анализ теплового баланса и проведенные расчеты показывают, что из числа потребителей теплоты данной энерготехнологической системы основными являются: отделение упарки, в которое поступает 18,15 МВт теплоты с паром от ТЭЦ; подогреватель промывочной воды для вакуум-фильтра, использующий 3 МВт теплоты; экстрактор – на подогрев реагентов до температуры реакции (≈ 3 МВт теплоты). При этом реакция разложения апатита серной кислотой в экстракторе сопровождается тепловым эффектом с тепловыделением около 10 МВт, и 3 МВт теплоты выделяется при предварительном разбавлении моногидрата серной кислоты.

Из анализа теплового баланса также следует, что в окружающую среду выбрасывается теплота: из разбавителя 2,2 МВт; из экстрактора 7,8 МВт; из выпарного аппарата с вторичным паром 15,652 МВт. Если коэффициент полезного использования (КПИ) теплоты

в данной системе определить по следующему соотношению:

$$\text{КПИ} = (Q_{\text{подв}} - Q_{\text{потерь}})/Q_{\text{подв}},$$

где $Q_{\text{подв}}$ – тепловой поток, подведенный к системе; $Q_{\text{потерь}}$ – тепловой поток, покинувший систему,

то он составит всего 3,2 %.

Одним из наиболее эффективных способов экономии ТЭР в теплоэнерготехнологических системах промышленных производств является использование сил гравитации в высокоэффективных теплопередающих устройствах – гладкостенных гравитационных тепловых трубах (термосифонах) для замены теплопередающих устройств с электроприводом. В качестве примера на рис. 1 представлена действующая система терморегулирования экстрактора в производстве экстракционной фосфорной кислоты со струйным охладителем реакционной массы. На электропривод насоса в линии с СОПМ (перекачка пульпы 158,2 кг/с) ежегодно расходуется в среднем 683 МВт·ч/год электроэнергии. Использование термосифонов в системе терморегулирования экстрактора с изменением теплотехнологической системы производства (рис. 2) позволяет не только исключить СОПМ с электроприводом при значительном сокращении электропотребления, но также сократить потребление пара от ТЭЦ для вакуум-фильтра (2,54 МВт) и использовать 5,1 МВт теплоты ВЭР, выделяемых в экстракторе, для систем теплоснабжения предприятия.

Предлагается также исключить такой элемент, как разбавитель серной кислоты, т.е. направлять 92,5 %-ную серную кислоту и воду для разбавления непосредственно в экстрактор. В действующей энерготехнологической системе разбавитель серной кислоты используется для уменьшения тепловой нагрузки на систему охлаждения экстрактора. Для реализации этой системы разработаны теплообменные аппараты на основе термосифонов. Использование двухфазных термосифонов является весьма эффективным. Из-за агрессивности и загрязненности многих источников теплоты при использовании традиционных теплообменных аппаратов, например, для ее непосредственной передачи потребителю возникает ряд проблем, связанных в первую очередь с надежностью и безопасностью, определяемыми герметичностью разделительных стенок. Тогда как термосифоны, как показали результаты их применения в таких условиях, являются достаточно эффективными и надежными.

В производстве ЭФК использование термосифонов позволяет теплоту, выбрасываемую в окружающую среду, непосредственно передавать в систему теплоснабжения предприятия и оказывает существенное влияние на экономию электроэнергии и экологическую безопасность [4].

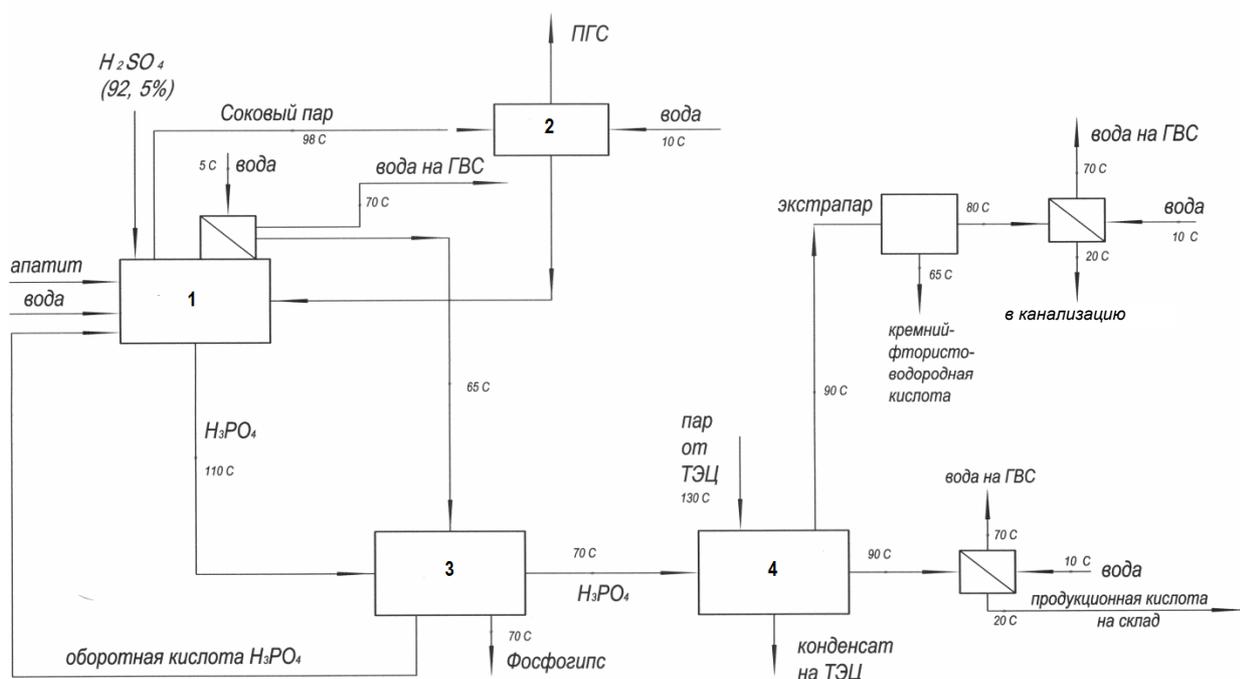


Рис. 2. Схема предлагаемой энерготехнологической системы производства ЭФК: 1 – экстрактор; 2 – абсорбер; 3 – вакуум-фильтр; 4 – выпарной аппарат

Термосифон представляет собой герметически замкнутый объем, внутренняя часть которого заполнена промежуточным теплоносителем (в данном случае водой). Тепловой поток подводится к нижней части термосифона (испаритель) и отводится от верхней (конденсатор). При подводе теплоты к промежуточному теплоносителю в зоне нагрева происходит процесс испарения или кипения жидкости. Образующиеся пары поднимаются вверх и конденсируются на внутренней стенке, отдавая теплоту внешнему теплоносителю. Образовавшийся конденсат стекает обратно в зону нагревания под действием сил гравитации [5].

Для охлаждения экстрактора предлагается использовать теплообменное устройство в виде блоков термосифонов. Испарительная часть тепловых труб находится непосредственно в экстракторе, а конденсационная – над крышкой реактора. Для лучшего теплообмена в экстракторе предлагается использовать одновременно осевые и радиальные мешалки.

Для утилизации теплоты экстрапара и производственной кислоты в новой системе также предлагается использовать теплообменные аппараты на основе тепловых труб.

Таким образом, новая энерготехнологическая система производства экстракционной фосфорной кислоты позволяет сократить затраты электроэнергии и воды на водооборотный цикл, использовать выделяемую в экстракторе теплоту в системе теплоснабжения предприятия.

Проведенный полный термодинамический анализ всей цепочки энергетических пре-

вращений при производстве ЭФК, от исходного сырья до получения конечного продукта, показывает значительные возможности по сокращению потребления ТЭР на основе интенсификации технологических процессов и совершенствования тепловых схем.

Сравнительный анализ термодинамической эффективности исходной и разработанной энерготехнологических систем показал, что 9,5 МВт теплоты, выделяемой в экстракторе, и 15,65 МВт теплоты с вторичным паром из выпарного аппарата эффективно можно реализовать в системе теплоснабжения предприятия. При этом исключается использование водооборотного цикла, что приводит к существенному сокращению электропотребления на привод циркуляционных насосов, потерь воды с испарением и уносом в градирнях.

Список литературы

1. Шелгинский А.Я. Основные направления создания рациональных комбинированных энерготехнологических систем предприятий химической промышленности // Промышленная энергетика. – 1990. – № 10. – С. 4–6.
2. Шелгинский А.Я. Создание рациональных энерготехнологических комплексов промышленных предприятий – эффективный путь решения основных задач энергосбережения. Подготовка специалистов // Промышленная энергетика. – 2010. – № 8. – С. 4–8.
3. Мухленов И.П. Химико-технологические системы. – М.: Химия, 1986. – 495 с.
4. Темяшова О.Н., Удыма П.Г., Шелгинский А.Я. Совершенствование системы энергообеспечения цеха по производству фосфорной кислоты // Тр. Моск. энерг. ин-та. – 1989. – Вып. 198. – С. 43–47.
5. Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. – Киев: Вищ. шк., 1991. – 226 с.

References

1. Shelginskiy, A.Ya. *Promyshlennaya energetika*, 1990, no. 10, pp. 4–6.
2. Shelginskiy, A.Ya. *Promyshlennaya energetika*, 2010, no. 8, pp. 4–8.
3. Mukhlenov, I.P. *Khimiko-tekhnologicheskie sistemy* [Chemical and Technological Systems]. Moscow, Khimiya, 1986. 495 p.
4. Temyashova, O.N., Udyma, P.G., Shelginskiy, A.Ya. *Sovershenstvovanie sistemy energoobespecheniya tsekha po proizvodstvu fosfornoj kisloty* [Improvement of Energy Supply System in Phosphoric Acid Production Shop]. *Trudy Moskovskogo energeticheskogo instituta* [Works of Moscow Power Engineering Institute], 1989, issue 198, pp. 43–47.
5. Bezrodnyy, M.K., Volkov, S.S., Moklyak, V.F. *Dvukhfaznye termosifony v promyshlennoy teplotekhnike* [Two-phase thermosiphons in industrial Heating Engineering]. Kiev, Vishcha shkola, 1991. 226 p.

Кладов Иван Владимирович,
ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет “МЭИ”»,
соискатель,
телефон (495) 918-10-20,
e-mail: kladoviv@mail.ru

Шелгинский Александр Яковлевич,
ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет “МЭИ”»,
доктор технических наук, профессор кафедры промышленных теплоэнергетических систем,
телефоны: (495) 362-75-53,
e-mail: shelginskyAY@yandex.ru

Седлов Анатолий Степанович,
ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет “МЭИ”»,
доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
телефон (495) 362-71-57.

Галактионов Валерий Витальевич,
НОУВПО «Русский институт управления»,
доктор технических наук, профессор, ректор,
телефон (495) 711-89-63.