

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Яицких Георгий Станиславович,

АО «Инженерно-промышленная нефтехимическая компания» (АО «ИПН»), заместитель генерального директора по развитию, кандидат технических наук

Вахрушин Павел Александрович,

АО «Инженерно-промышленная нефтехимическая компания» (АО «ИПН»), руководитель сектора инновационных разработок, кандидат химических наук

Исхаков Вадим Равилевич,

Филиал ПАО АНК «БАШНЕФТЬ» «Башнефть-Уфанефтехим», Уфа

Краснов Алексей Владимирович,

АО «Инженерно-промышленная нефтехимическая компания» (АО «ИПН»), главный специалист технологического отдела

Ключевые слова: нефтепереработка, оптимизация технологического процесса, энергоэффективность, энергопотребление, рекуперация, Пинч-анализ, теплообменное оборудование.

Основная доля нефтеперерабатывающих заводов нашей страны вводилась в эксплуатацию в 60, 70 и 80-е годы прошлого столетия. В это время особое внимание уделялось увеличению единичных мощностей установок, при этом вопросы экономии энергоресурсов и повышения технико-экономических показателей отходили на второй план. Такой подход вполне себя оправдывал чрезвычайно низкой стоимостью энергоносителей и отсутствием жесткого экологического законодательства. В настоящее время стоимость строительства и энергоносителей значительно выше и продолжает монотонно увеличиваться, а экологические требования ужесточаются с каждым годом. Эти обстоятельства ставят перед нефтепереработчиками задачу оптимизации технологических схем и режимов переработки с целью увеличения выхода целевого продукта, повышения его качества, снижения эксплуатационных затрат и уменьшения размеров оборудования. Широко распространенным требованием к производственному процессу стало низкое энергопотребление, которое обеспечивает ощутимые преимущества в коммерческой рентабельности и соответствие предприятия экологическим требованиям. Именно поэтому многие НПЗ, спроектированные и построенные во времена низких цен на энергоносители и работающие далеко не в оптимальном режиме с точ-

ки зрения энергопотребления, ставят своей целью снижение себестоимости продукта путем снижения расходов энергоносителей.

Большинство нефтеперерабатывающих заводов под лозунгом энергосбережения ограничиваются лишь мероприятиями по экономии электроэнергии. К примеру, путем установки частотных регуляторов для электроприводов насосов и вентиляторов воздушных холодильников или использования экономичных электроосветительных приборов. Причем «модная» в настоящее время установка частотных регуляторов для электроприводов вентиляторов воздушных холодильников производится в тех местах, где возможно вообще обойтись без воздушных холодильников.

Некоторые предприятия рассматривают возможность применения «бросового» тепла (тепла технологических потоков с температурой ниже 100–120°C) для производства теплофикационной воды. Эта вода может быть использована для обогрева полов открытых насосных станций, заводских зданий, а также для обогрева резервуаров для хранения нефти, мазута, дизельного топлива и пожарной воды, но этот способ утилизации тепла имеет сезонный характер, и в летний сезон, когда нагрузка на водяные и воздушные холодильники максимальная, полезная утилизация тепла практически отсутствует. Сейчас мало кто из отечественных нефтепереработчиков понимает, что основной потенциал экономии энергоносителей (до 90%) скрывается в самих технологических процессах, а особенно в схеме рекуперации. В целом модернизацию, направленную на повышение энергетической эффективности и энергосбережение, следует начинать с реакторной системы, системы разделения и системы теплообмена и лишь потом переходить к интенсификации утилит (внешних энергоресурсов — электрической энергии, пара и топлива). Повышение энергетической эффективности должно быть одной из составляющих любых реконструкций, технических перевооружений и модернизаций, проводимых на объекте. Так, изменения вышеуказанных систем влияют и на целевую продукцию, и на объемы требуемых энергетических ресурсов. Нельзя отделять технологическую и энергетическую эффективность. Попытка утилизировать бросовое тепло лишь заход со «стороны потерь», в то время как начинать нужно со «стороны технологического потребления».

Правильное проектирование системы рекуперации тепла любого технологического процесса позволяет значительно снизить нагрузку на печи, паровые подогреватели, а также водяные и воздушные холодильники, что, в свою очередь, позволяет значительно сэкономить на топливе, электроэнергии,

паре и оборотной воде. Снижение потребления этих энергоносителей может составлять 10–20%, а в отдельных случаях и до 40–50% от начального энергопотребления. Экономии на энергоносителях можно достичь тремя основными способами:

- оптимизация системы теплообмена;
- вовлечение в рекуперацию максимального количества основных технологических и вспомогательных потоков;
- использование высокоэффективных теплообменных аппаратов.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА

При разработке системы теплообмена перед технологом стоит задача рекуперации максимального количества тепла технологических потоков при наименьших капитальных затратах на оборудование. При этом количество потоков, которые нужно нагреть или охладить, достаточно велико. К примеру, на установке первичной перегонки для нагрева нефти обычно используется тепло потоков мазута, газойля, дизельного топлива, циркуляционных орошений и пр. В связи с этим стоит непростая задача: какие именно потоки и в какой последовательности соединять между собой рекуперативными теплообменниками? Чаще всего при проектировании руководствуются следующими принципами:

- рекуперировать тепло потоков, связанных с одним аппаратом; например, нагревать входящее в реактор сырье выходящим из него продуктом или входящее в колонну сырье выходящим из нее кубовым остатком;

- для нагрева потоков с низкой температурой стараться использовать технологические потоки с более низкой начальной температурой, а для нагрева потоков с высокой начальной температурой использовать более горячие потоки;

- подбирать теплообменник или группу теплообменников таким образом, чтобы обеспечить передачу максимально возможного количества тепла;

- оптимизировать конфигурацию теплообменника (или системы теплообменников) с целью повышения коэффициента теплопередачи и снижения поверхности теплообмена.

Зачастую этих принципов не всегда достаточно для обеспечения максимальной или близкой к максимальной рекуперации тепла. В связи с этим в западных странах во время энергетического кризиса в середине 70-х годов появился новый метод оптимизации системы теплообмена, получивший название *Пинч-анализ*. В последние десятилетия этот метод интенсивно развивался и получил широкое практическое применение на Западе. Использование Пинч-анализа возможно как при проектировании новых, так и при реконструкции существующих технологических установок, при этом по практическим данным капитальные затраты на перевооружение теплообменного ряда в отдельных случаях были сведены всего лишь к переобвязке существующих теплообменников, а капитальные вложения окупались зачастую всего за несколько месяцев [1, 2]. Данный метод позволяет Заказчику проводить поэтапную

оптимизацию системы теплообмена с пошаговыми изменениями в структуре теплообмена, начиная с переобвязки теплообменных аппаратов, разделения потоков, интенсификации теплообмена и заканчивая увеличением площадей теплообмена с определением приемлемой стоимости и эффективности инвестиций. Вкратце расскажем об основных принципах этого метода.

Пинч-анализ начинается с составления на основе исходных данных так называемых *составных кривых* технологических потоков, которые отображаются на температурно-энтальпийной плоскости (рис. 1, а). Потоки, которые необходимо охладить, в Пинч-анализе называют *горячими* потоками (*кривая 1*), а потоки, которые необходимо нагреть, — *холодными* (*кривая 2*). Минимальное расстояние между составными кривыми вдоль температурной оси — это минимальная разность температур (DT_{min}) между горячим и холодным потоком в теплообменной сети, соответствующей данной диаграмме, а сама область сближения называется *пинчем*. График составных кривых несет в себе следующую полезную информацию:

- количество теплоты, которое может быть передано от горячих потоков к холодным (Q_{rec}), — область перекрытия кривых вдоль оси абсцисс;
- минимальное количество тепла, которое должно быть передано холодным потокам от внешнего источника тепла (Q_H), и минимальное количество теплоты, которое должно быть передано от горячих потоков внешним энергоносителям (Q_C).

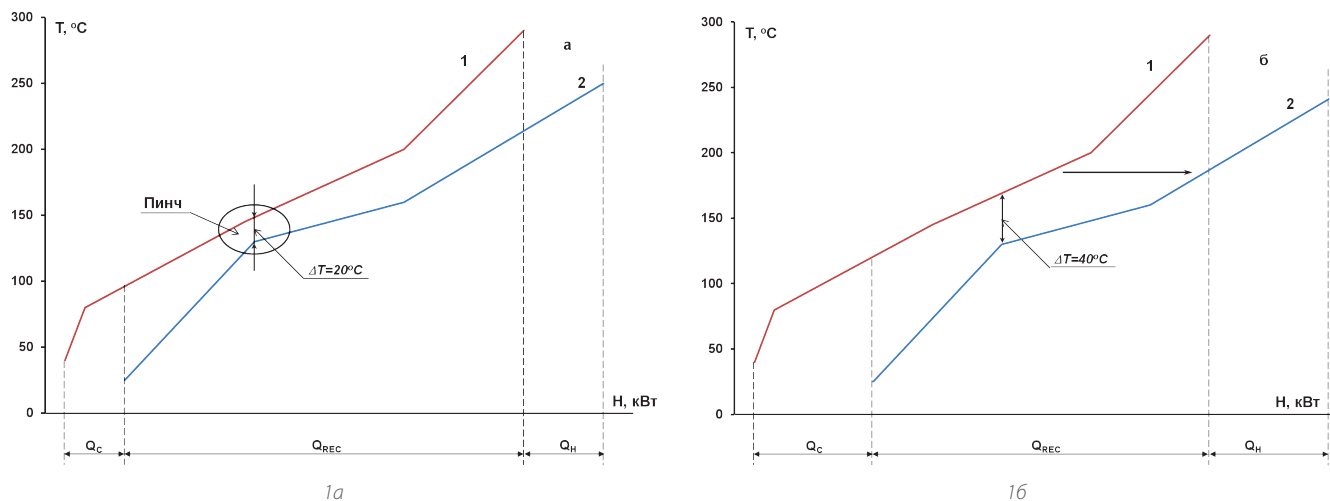


Рис. 1. Отображение составных кривых технологических потоков на T-H диаграмме

Также по составным кривым можно с приемлемой точностью рассчитать минимальную общую поверхность теплообмена, обеспечивающую необходимый перенос тепла от горячих потоков к холодным. Очевидно, что капитальные затраты на теплообменное оборудование, которые возрастают с увеличением поверхности теплообмена, должны окупаться экономией на энергоносителях. Пинч-анализ позволяет определить стоимостный компромисс между экономией на энергоносителях и капитальными вложениями при заданном сроке окупаемости. В Пинч-анализе разработчик имеет право сдвигать кривую холодных потоков вправо или влево вдоль оси абсцисс, тем самым увеличивая или уменьшая DT_{min} , Q_H , Q_C , Q_{rec} (рис. 1, б). При движении вправо Q_H и Q_C увеличиваются, тем самым повышая затраты на внешние энергоносители. В свою очередь, при этом уменьшается Q_{rec} и увеличивается DT_{min} , что снижает минимальную общую поверхность теплообмена, а следовательно, и стоимость оборудования. Рассчитав капитальные вложения и затраты на энергоносители для нескольких положений составной кривой холодных потоков, можно построить кривые зависимости этих затрат (рис. 2), а также кривую зависимости суммарных затрат от DT_{min} и определить DT_{opt} , при которой суммарные затраты будут минимальны. Таким образом, проектировщик определяет для себя целевые значения количества потребляемых энергоносителей и общей поверхности теплообмена.

После этого можно начинать размещать теплообменное оборудование, руководствуясь правилами Пинч-анализа, основные из которых следующие:

1. Запрещается переносить тепловую энергию от горячих потоков к холодным через пинч.
2. Запрещается подводить тепло от внешних энергоносителей к холодным потокам ниже пинча.
3. Запрещается отводить тепло горячих потоков к внешним энергоносителям выше пинча.

Выполнение этих и других принципов Пинч-анализа позволяет оптимизировать систему теплообмена при проектировании новой или реконструкции существующей технологической установки нефтегазопереработки, химии и нефтехимии, а результатом этой оптимизации, как уже было сказано, может стать экономия до 40–50% затрат на энергоносители.

Именно на стадии проектирования как нового строительства, так и реконструкций и технических перевооружений необходимо в обязательном порядке проводить оптимизацию системы теплообмена при заданных сроках окупаемости самого проекта. Это позволит не ухудшать показатели экономической эффективности проекта и при этом снизить затраты на последующую эксплуатацию. Именно на стадии проектирования это сделать гораздо дешевле и правильнее, иначе есть риск получить неэффективную установку и затраты на закупку бесполезных с точки зрения энергоэффективности воздушных и водяных холодильников, в то время как данные

капитальные затраты можно было потратить на повышение эффективности теплообмена.

ВОВЛЕЧЕНИЕ В РЕКУПЕРАЦИЮ МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПОТОКОВ

Зачастую при проектировании для рекуперации тепла на технологических установках по тем или иным причинам используют не все технологические, а уж тем более вспомогательные потоки. Например, при проектировании системы теплообмена на установке первичной перегонки нефти очень часто в теплообмен с нефтью не вовлекают керосиновую фракцию и паровые потоки верхов колонн. Обосновывается данное решение тем, что пространство теплообменного аппарата, занятое нефтью, находится под более высоким давлением, чем пространство дистиллята, вследствие чего при нарушении герметичности нефть, попадая в поток дистиллята, необратимо «портит» продукт. Однако рекуперация тепла паров верха колонны, имеющих значительный потенциал по теплу и температуре, весьма выгодна и является общепринятой мировой практикой проектирования систем конденсации установок, тем более что уже существуют технические решения, практически исключая попадание сырья в продуктовые потоки.

Другим примером использования новых потоков с целью энергосбережения является применение конденсата, образовавшегося из пара высокого давления, для получения пара низкого давления и использования его в технологии или на объектах общезаводского хозяйства, а также использование конденсата пара низкого давления на общезаводские нужды. Кроме того, возможна выработка электроэнергии с использованием потенциала технологических потоков с высоким давлением при их дросселировании.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

В качестве основных теплообменных аппаратов в блоках теплообмена установок широко используют теплообменники кожухотрубчатого типа, значительно реже — пластинчатые теплообменники. Однако стоит заметить, что пластинчатые теплообменники обладают преимуществами перед кожухотрубчатыми и лучше

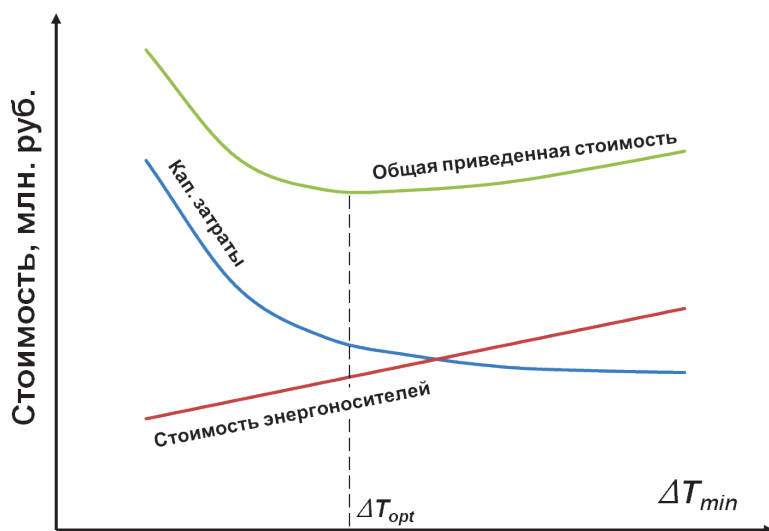


Рис. 2. Характер зависимости общей приведенной стоимости от DT_{min}

подходят для целей рекуперации тепла по следующим причинам:

1. Возможность работы при низкой разности температур горячего и холодного потока (DT), которая является движущей силой процесса теплопередачи. Величина DT оказывает существенное влияние на площадь теплообменной поверхности и, следовательно, на стоимость теплообменной системы. Увеличение DT , с одной стороны, приводит к снижению площади теплообмена, с другой стороны, снижает доступную для рекуперации теплоту. При уменьшении DT , наоборот, происходит рост требуемой площади теплообменной поверхности, а вместе с ней — стоимости теплообменной системы, но при этом увеличивается количество рекуперлируемой теплоты. Поэтому для различных типов теплообменных аппаратов установлены свои оптимальные значения DT . При применении кожухотрубчатых аппаратов не следует устанавливать DT ниже 10°C , для пластинчатых аппаратов DT может достигать 5°C .

2. Кроме возможности работы при низких температурных напорах, пластинчатые аппараты отличаются строгим противоточным движением потоков теплоносителей, тогда как даже в одноходовых кожухотрубчатых аппаратах из-за наличия в кожухе поперечных перегородок присутствуют поперечные течения, что также снижает эффективность теплообмена.

3. Другими преимуществами пластинчатых аппаратов являются более высокие коэффициенты теплопередачи, пониженная восприимчивость к загрязнению, высокие скорости потоков, высокая удельная площадь поверхности на единицу объема.

В целом, заводы, эксплуатирующие пластинчатые теплообменники, положительно отзываюся о данном типе аппаратов, есть только единичные сообщения о возникновении протечек на горячих потоках. Хорошим решением может быть совместная установка кожухотрубчатых теплообменников для рекуперации тепла технологических потоков с высоким температурным напором ($DT > 10^\circ\text{C}$) и пластинчатых теплообменников для рекуперации тепла потоков с низким ($DT < 10^\circ\text{C}$).

Все большую популярность набирают сварные пластинчатые теплообменники — компаблоки. Компабллок — это сварной компактный пластинчатый теплообменник, в

котором отсутствуют прокладки между пластинами. Благодаря усовершенствованной конструкции компабллок может работать в агрессивных средах при высоком давлении и в широком диапазоне температур. Компабллок, благодаря уменьшенному размеру, легко может вписаться практически в любую тепловую систему. Их применение можно рекомендовать в различных процессах конденсации и ребойлерах. На тяжелых и вязких продуктах практическим лидером являются спиральные теплообменные аппараты. На газосырьевых и газопродуктовых средах гидрогенизационных процессов высокую эффективность показывают теплообменные аппараты типа Packinox.

В МЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В настоящее время решениями задач по снижению энергопотребления на российских НПЗ занимаются зарубежные компании, такие как KBC, Aspen Technology и др. Они проводят энерготехнологический аудит предприятия, который включает:

- сбор необходимых исходных данных (изучение проектной документации, режима работы установки, проведение обследований и т. д.);
- моделирование работы установки с использованием собственного программного обеспечения;
- оценку потенциала системы касательно снижения энергопотребления;
- разработку технических решений по снижению расхода энергоносителей;
- определение основных экономических показателей (стоимости, срока окупаемости) предлагаемых мероприятий по реализации этих технических решений.

Очевидно, что стоимость этих работ, выполненных иностранной компанией, будет предельно высокой, особенно ввиду сложившейся ситуации в мире.

АО «ИПН» — одна из немногих отечественных проектных организаций, которая готова провести энерготехнологический аудит на технологических установках нефте- и газоперерабатывающих, химических и нефтехимических предприятий, а также провести аудит завода в целом. Компания выполнила и практически реализовала ряд проектов по реконструкции технологических установок, в результате которых значительно повышена энер-

гоэффективность производственных процессов:

- установка АТ-2 на Краснодарском НПЗ;
- установки СПГК и 22/4 на Афипском НПЗ;
- установка 22/4 на Московском НПЗ и т. д.

К тому же необходимо отметить, что специалистами АО «ИПН» разработаны и запатентованы технические решения по:

- выработке электроэнергии с использованием низкпотенциального тепла технологических потоков [3];
- использованию тепла конденсации паров нефтепродуктов, отходящих с верха колонн установки первичной перегонки для нагрева сырой нефти [4].

Нужно, однако, сказать, что сейчас не все отечественные предприятия понимают, что больший экономический эффект заключается не в поиске наиболее дешевых товаров (технологических аппаратов, приборов КИП и т. д.) и услуг (инжиниринг, проектирование) путем проведения закупок на основе тендеров, а в поиске толкового исполнителя, который сможет своими идеями добиться значительного увеличения прибыли для заказчика.

Необходимо в обязательном порядке включать в состав технического задания на планируемое новое строительство и реконструкцию требования по повышению энергетической эффективности, начиная с оптимизации систем теплообмена. В Европе данная практика уже нашла свое отражение в нормативной документации по повышению энергетической эффективности Евросоюза. Российская Федерация в данном направлении должна брать на вооружение уже имеющиеся подходы и принципы, обеспечивающие снижение себестоимости продукции.

Список литературы

1. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Ульев Л. М. Основы интеграции тепловых процессов. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. — 458 с.
2. Жулаев С. В. Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2012. — № 2. — С. 392–398.
3. Устройство утилизации тепла потоков нефтепродуктов: пат. RU 141991: МПК F 01 K 17/02 (2006.01) / Яицких Г. С.; патентообладатели АО «ИПН», Яицких Г. С.
4. Установка первичной перегонки нефти (варианты): пат. RU 2014 122080: МПК C 10 G 7/00 (2006.01) / Яицких Г. С.; патентообладатели АО «ИПН», Яицких Г. С.