

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

А.В. Федюхин, А.Г. Звончевский

Национальный исследовательский университет, «МЭИ», г. Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-1819-0450, ORCID: 0000-0001-5639-6364

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Разработка перспективных направлений по совершенствованию технологии нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) на основе использования теплоты низкотемпературных источников системы первичной перегонки нефти. *МЕТОДЫ.* Анализ исследуемой поточной схемы НПЗ проводился на предмет выявления самой энергозатратной системы, при этом использовались методы аналитического и термодинамического анализа. Анализ энергоиспользования в схеме электрообессоливающей установки осуществлялся на основе данных технологического регламента существующей ЭЛОУ-АВТ-7. Оценка целесообразности предложенных направлений и разработанных решений проводилась на основе методов технико-экономического и экологического анализа. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В настоящей статье описана актуальность рассматриваемой проблематики и обоснована значимость ее развития с перспективой совершенствования теплотехнологических процессов для повышения энергетической и экологической эффективности. На примере распространенной схемы по первичной переработке сырой нефти показано, что данная технология имеет значительный потенциал энергосбережения. Предложены наиболее перспективные направления по рациональному использованию теплоты, а также представлено модернизационное решение, направленное на усовершенствование технологических элементов схемы ЭЛОУ-АВТ-7 на основе утилизации теплоты углеводородной парогазовой смеси (ПГС). *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Предложенные направления энерго- и ресурсосбережения, а также разработанные мероприятия по использованию теплоты низкопотенциальных источников в схеме НПЗ показывают свою перспективность за счет существенного снижения тепловых потерь энергии, сокращения потребляемого топлива и повышения эффективности его использования, что, в целом, положительно отразится на экономической и экологической обстановке региона.

Ключевые слова: ректификация; электрообессоливающая установка; рекуперация; энергосбережение; экологическая эффективность.

Для цитирования: Федюхин А.В., Звончевский А.Г. Особенности прямых измерений для оценки объемной активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 3. С. 15-27. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-15-27.

PROMISING DIRECTIONS FOR THE USE OF HEAT FROM LOW-POTENTIAL SOURCES OF CHEMICAL PRODUCTION

AV. Fedyukhin, AG. Zvonchevsky

National Research University, MPEI, Moscow, Russia
RCID: 0000-0002-1819-0450, ORCID: 0000-0001-5639-6364

Abstract: *THE PURPOSE.* Development of promising directions for improving the technology of an oil refinery (refinery) based on the use of heat from low-temperature sources of the primary oil distillation system. *METHODS.* The analysis of the technological scheme of the refinery carried out, in order to identify the most energy-intensive system, while using the methods of analytical and thermodynamic analysis. The analysis of energy use in the circuit of an electric desalination plant (EDP) is carried out according on the basis of the data of the technological regulations of the existing EDP-AVT-7. The assessment of the feasibility of the proposed directions and

developed solutions was carried out on the basis of the methods of technical, economic and environmental analysis. RESULTS. This article shows the relevance of the problem and substantiates the importance of its consideration for improving energy and environmental efficiency. Based on a common scheme for the primary processing of crude oil, it is noted that this technology has significant energy saving potential. It is proposed to implement promising directions for the rational use of heat, and a modernization solution is presented aimed at improving the technological elements of the EDP-AVT-7 circuit based on the heat recovery of the hydrocarbon vapor-gas mixture. CONCLUSION. The proposed directions and developed measures for the use of heat from low-grade sources in the refinery scheme show their promise due to a significant reduction in technological energy losses, a reduction in fuel consumption and an increase in the efficiency of its use, which, in general, will positively affect the economic and environmental situation in the region.

Keywords: *rectification; electric desalination plant; recuperation; energy saving; environmental efficiency.*

For citation: Fedyukhin AV, Zvonchevsky AG. Promising directions for the use of heat from low-potential sources of chemical production. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(3):15-27. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-15-27.

Введение и литературный обзор

За последние десятилетия химическая промышленность достигла высоких результатов, и с течением времени продолжает стремительно развиваться. Ежегодно увеличиваются объемы производства различных видов продукции, в следствии возведения новых энерготехнологических комплексов (ЭТК) по добыче, обогащению и переработке органических и неорганических веществ, а также в следствии увеличения единичных мощностей производств, входящих в состав ЭТК [1].

Согласно стратегическим направлениям развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России [2], планируется ввести ряд определенных механизмов, направленных на улучшение социально-экономической обстановки России и на укрепление позиций на мировой арене. Так, например, развитие системообразующих элементов экономической системы России в области химической промышленности сопровождается ростом энергетических мощностей, из-за чего возникает необходимость в поставке дополнительных объемов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Однако, как известно, в результате роста объема потребляемых ТЭР, улучшается не только экономические показатели за счет реализации продукции, произведенной по итогу увеличения единичных мощностей производств, но вместе тем ухудшается и экологическая обстановка в следствии увеличения выбросов вредных веществ с продуктами горения в окружающую среду. Кроме того, при возведении новых промышленных объектов, при реконструкции или модернизации, необходимо решать задачи технологической и энергетической совместимости на основе наилучших доступных технологий и энергоэффективных решений, позволяющих повысить как экономическую и энергетическую [3], так и экологическую эффективность в производственной деятельности.

В связи с вышеописанной развивающейся зависимостью ТЭК, тесно коррелирующей с проблематикой экологического характера, на основе существующих задач в сфере нефтеперерабатывающей промышленности [4] формировалась актуальность настоящей работы, заключающаяся в разработке и анализе наиболее значимых направлений, которые позволяют охватить несколько смежных областей существующей проблематики. Ведь поставленные задачи по повышению энергетической и экономической эффективности должны решаться совместно с экологическими критериями результативности, поскольку игнорирование экологических угроз незамедлительно приведет к неоправданным рискам и потерям в условиях развития обратно пропорциональной зависимости эколого-экономических показателей. Поэтому, совершенствование энерготехнологических систем энергоемких производств нефтехимической промышленности должно осуществляться на основе актуальных научно-технических разработок, которые отвечают требованиям экономического и экологического характера.

Среди основных энергоемких объектов химической промышленности России, особое место занимает ЭТК нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. По объемам переработки углеводородного сырья в мире России занимает третье место, после США и Китая. Наряду с прогрессирующим развитием экономической составляющей нефтеперерабатывающей отрасли России, коррелируют проблемы и экологического характера [5]. Так, на этапе первичной переработки сырья в комбинированной системе атмосферно-вакуумной перегонки на одну тонну нефти расходуется значительное количество ТЭР, значения которых приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Удельные энергетические затраты на переработку сырья

Потребляемые топливные и энергетические ресурсы на одну тонну перерабатываемой продукции	Значение
Топливо, МДж	385-680
Электроэнергия, кВт·ч	6,6-8,8
Водяной пар, кг	10-17
Охлаждающая вода, м ³ ($\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,4-2,8

При этом, в структуре энергопотребления систем первичной переработки нефти, практически 85% приходится на различные виды топлив, около 10% на тепловую энергию с паром среднего и высокого давлений и около 5% на электроэнергию. В качестве основных видов топлива, используемого в технологии НПЗ, выступает как собственная произведенная продукция – углеводородный газ, дизельное топливо или мазут, так и покупная – природный газ [6]. При этом, для определения экологического воздействия при комплексной оценке нанесенного вреда с выбросами вредных веществ в атмосферу, прибегают к оценке количественных показателей при сжигании различного типа топлив. Наиболее распространенным показателем является годовой объем выбросов углекислого газа и его производных. Оценка выбросов диоксида углерода на одну тонну сжигаемого топлива рассчитывается в зависимости от вида топлива [7] в соответствии с регрессионными зависимостями, переводные коэффициенты которых приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Удельные характеристики углеродного следа при сжигании топлив

Вид топлива	Выбросы CO ₂ , т /тыс.м ³
Дизельное топливо	3,15
Топочный мазут	3,1
Углеводородный газ	1,95
Природный газ	1,85

Согласно актуальным данным по оценке энергосберегающего потенциала в странах СНГ и за рубежом [8], имеются технологии и возможности по сокращению потребляемого топлива на 9%, по снижению нагрузок тепловой и электрической энергии соответственно на 9% и 10%. Кроме того, большинство нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) России, в силу технологических особенностей, имеют системы с низким показателем использования тепловой энергии, что еще раз подтверждает важность разработки перспективных инновационных научно-технологических направлений и значимость ресурсосберегающих технологий для всей нефтехимической промышленности [9].

Развитием данных направлений и разработкой инновационных решений в сфере нефтеперерабатывающей промышленности занимаются различные структуры проектных и научных организаций. Так, в одном канадском НПЗ компании Shell в г. Сарния было реализовано энергосберегающее решение по утилизации тепловой энергии шлемовых паров ректификационной колонны (РК) флюидизированного каталитического крекинга. Данное решение было организовано путем замены исходной системы охлаждения РК на новую с иным технологическим назначением. По мимо выполнения требуемой технологической операции по охлаждению шлемовых паров, разработанное решение позволяет утилизировать ранее не использованную тепловую энергию в количестве 13,5 МВт из располагаемых 23 МВт для нагрева котловой питательной воды посредством использования серии теплообменных аппаратов [10]. Такое решение обеспечивает эффективное охлаждение технологических потоков, позволяет экономить топливные и энергетические ресурсы, а также повышает надежность всей системы за счет применения современных

материалов, устойчивых к агрессивным средам в совокупности с высокими значениями термодинамических параметров. Кроме того, внедрение такого рода решений в технологию НПЗ повышает общую энергетическую эффективность производства.

С учетом существующих проблем, актуальных задач и развивающихся технологий в нефтехимической промышленности, возможно выделить наиболее распространенные и часто встречающиеся направления энергосбережения на нефтеперерабатывающих предприятиях:

1. Проведение организационно-технических мероприятий по снижению энергоёмкости технологических установок.
2. Модернизация и замена старого оборудования на новое с более высоким коэффициентом полезного действия (КПД).
3. Оптимизация технологий использования топлива.
4. Увеличение рекуперации тепла за счёт оптимизации схем движения теплоносителей, а также за счёт наращивания теплообменной площади рекуператоров.
5. Использование экономичных осветительных приборов.
6. Увеличение использования невостробованной тепловой энергии, а также повышение степени её утилизации.

На основе вышеописанной проблематики и актуальных направлений в сфере энергосбережения нефтехимической промышленности, предлагается проанализировать наиболее перспективные направления, способствующие прогрессивному развитию научно-технологической базы знаний. Это предоставит необходимую теоретико-ориентированную информацию на основе которой будут разрабатываться технологические алгоритмы внедрения проектных решений и мероприятий, а также будут решаться проблемы и задачи, имеющие непосредственное отношение к нефтеперерабатывающим технологиям и связь с энергосберегающей деятельностью на основе использования источников бросовой теплоты.

Целью настоящей статьи является разработка перспективных направлений по совершенствованию технологии НПЗ на основе использования теплоты низкотемпературных источников энерготехнологической системы производства.

Материалы и методы

На основе распространенной технологической схемы НПЗ, исследовалась потоковая схема нефтеперерабатывающего производства, выполнялся анализ энергоиспользования и выявлялись вакантные источники тепловой энергии различного потенциала для дальнейшего анализа целесообразности их использования [11]. Типовая схема переработки исходного сырья представлена на рисунке 1.

Описание технологических операций НПЗ

Очищенная от соли и воды нефть идёт на установку ректификации, называемую АТ (атмосферная трубчатка) или АВТ (атмосферно-вакуумная трубчатка). Нефть нагревают в трубчатых печах, топливом для которых служит попутный природный газ или произведённый на НПЗ углеводородный газ или мазут. Подогрев нефти осуществляется до температуры не более 360 °С в целях предотвращения развития процессов термического крекинга. Подогретая парожидкостная смесь поступает в ректификационную колонну, давление в которой близко к атмосферному, в куб колонны для лучшего испарения подаётся водяной пар. В ректификационной колонне нефть подразделяется на фракции в зависимости от температурных параметров, при этом колонны могут различаться по количеству отгонов, также в них может быть разное число систем с циркуляционным орошением. Однако во всех случаях физико-химические и тепло-массообменные процессы, протекающие в ректификационной колонне (РК), подчиняются одним и тем же законам классической термодинамики. Жидкость в нижней части РК подогревается в ребойлере и частично парообразуется и поступает на дальнейшую обработку, а неиспарившаяся часть откачивается. Пары в колонне движутся снизу-вверх, проходя при этом через слои жидкости, которая стекает сверху-вниз с одной тарелки на другую по переливным устройствам. Давление и температура убывают по высоте колонны, то есть температура и давление в нижней части колонны выше, чем в шлеме (верхней части). При контакте пара и жидкости происходит поглощение тяжёлых компонентов, содержащихся в паре жидкостью, а легкокипящие компоненты, наоборот, выделяются из жидкости. Из куба атмосферной ректификационной колонны выводится прямогонный мазут, который подлежит дальнейшей переработке в вакуумной колонне. Так как давление в такой колонне ниже атмосферного, диапазоны температур кипения сдвигаются вниз, таким образом, мазут разделяют по меньшей мере на две фракции: вакуумный газойль и гудрон. В некоторых случаях для снижения нагрузки на основную фракционирующую колонну устанавливают колонну

предварительного отбензинивания. Сырьё, поступающее в отбензинивающую колонну, подогревается в системе теплообменных аппаратов за счёт горячих продуктовых потоков главной фракционирующей колонны. Также в состав АВТ может входить блок вторичной ректификации широкой бензиновой фракции. На данном технологическом этапе первичная переработка нефти оканчивается.

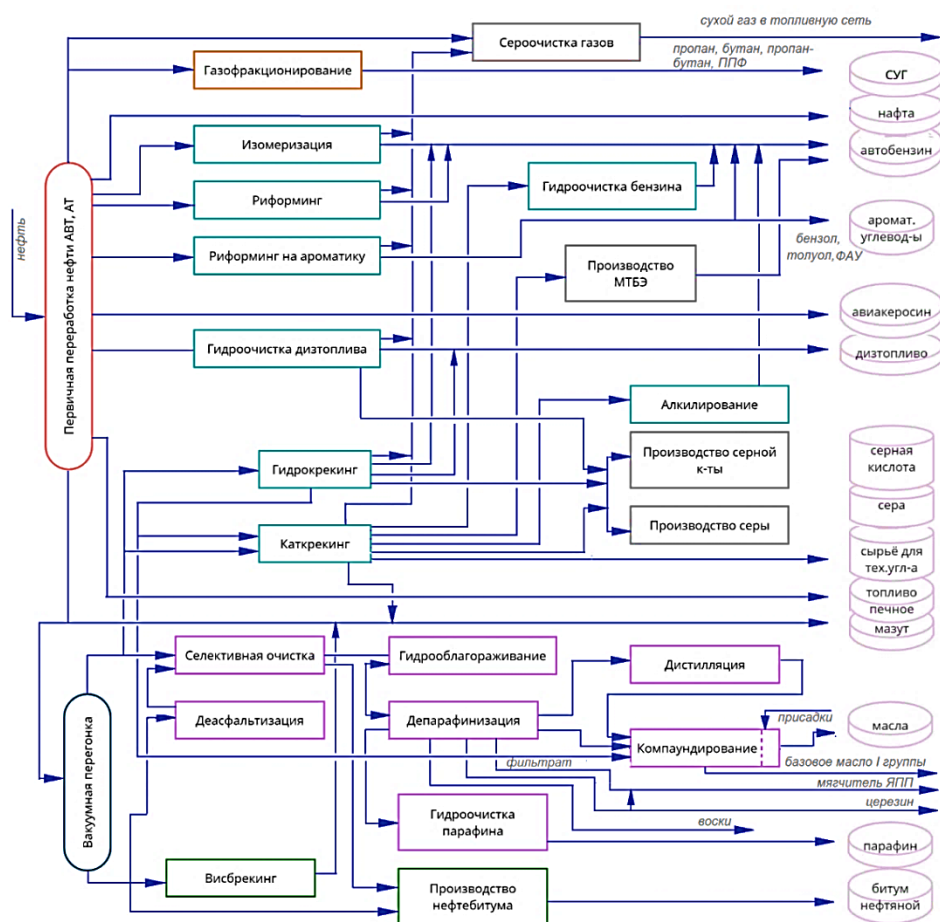


Рис.1. Поточная схема нефтеперерабатывающего завода Fig.1. Flow diagram of an oil refinery

Исследуемая схема

На начальных и промежуточной стадиях переработки нефтепродуктов, наряду с реформингом, гидроочисткой и изомеризацией имеются различные технологии, представляющие собой разнесенные системы с поэтапной обработкой сырьевой продукции или комбинированные системы, которые включают в себя выполнение нескольких технологических процессов, например – процесс ректификации, гидроочистки, абсорбции и тп. Среди подобных систем, имеет место электрообессоливающая установка (ЭЛОУ). Она может включать в себя несколько системных блоков, в зависимости от технологических особенностей. Эта система объединяет множество энергоёмких процессов [12], образующих как полезные, так и побочные продукты реакций, энергия которых может быть полезна использована. На рисунке 2 представлена принципиальная схема блока атмосферной перегонки нефтяных фракций комбинированной системы ЭЛОУ-АВТ.

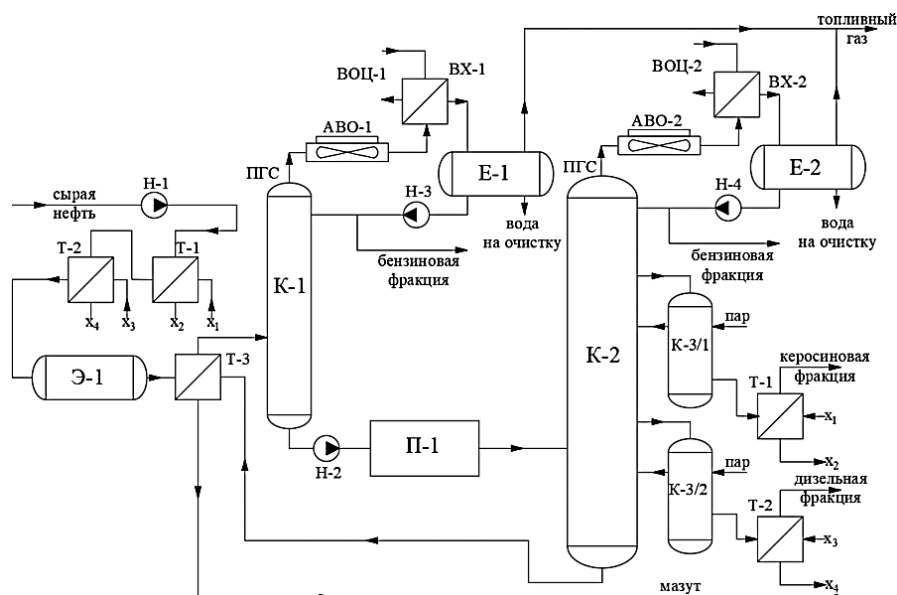


Рис.2. Принципиальная схема ЭЛОУ-АВТ: Э-1 — электродегидратор нефти; К-1 — отбензинивающая колонна; К-2 — основная ректификационная колонна; К-3/1 — отпарная колонна керосиновой фракции; К-3/2 — отпарная колонна дизельной фракции; П-1 — печь; Н-1, Н-2, Н-3, Н-4 — насосы; Е-1 — рефлюксная емкость К-1; Е-2 — рефлюксная емкость К-2; Т-1 — теплообменник нефти/керосин; Т-2 — теплообменник нефти/дизтопливо; Т-3 — теплообменник нефти/мазут; АВО-1 — аппарат воздушного охлаждения бензиновых фракций из К-1; ВХ-1 — водяной холодильник бензиновых фракций из К-1; АВО-2 — аппарат воздушного охлаждения бензиновых фракций из К-2; ВХ-2 — водяной холодильник бензиновых фракций из К-2.

Fig.2. Schematic diagram of EDP-AVT: E-1 - electric oil dehydrator; K-1 - topping column; K-2 - main distillation column; K-3/1 - kerosene fraction stripping column; K-3/2 - diesel fraction stripping column; P-1 - oven; N-1, N-2, N-3, N-4 - pumps; E-1 - reflux capacity K-1; E-2 - reflux capacity K-2; T-1 - oil/kerosene heat exchanger; T-2 - oil/diesel fuel heat exchanger; T-3 - oil/fuel oil heat exchanger; ACU-1 - air cooler for gasoline fractions from K-1; BX-1 - water cooler of gasoline fractions from K-1; ACU-2 - air cooler for gasoline fractions from K-2; BX-2 - water cooler of gasoline fractions from K-2.

Описание технологических операций схемы ЭЛОУ-АВТ

Атмосферная перегонка нефтяного сырья в рассматриваемом блоке осуществляется по схеме двукратного испарения. После предварительного подогрева нефти в рекуперационных теплообменниках (ТА-1,2,3) в первой ректификационной колонне отгоняются легкие бензиновые фракции. Удаление легких бензиновых фракций позволяет держать пониженное давление в системе колонны К-2, что благоприятно влияет на процесс ректификации. Получаемые фракции керосина и дизеля в системах К-3/1 и К-3/2, а также мазут перед поступлением на дальнейшую переработку направляются в систему рекуперации. Выходящая углеводородная парогазовая смесь (ПГС) после К-1 и К-2 поступает в системы воздушного и водяного охлаждения (АВО и ВОЦ) и далее направляется в рефлюксную емкость для последующей переработки. Образовавшаяся бензиновая фракция после систем Е-1 и Е-2 частично рециркулируется в К-1 и К-2 и отбирается на последующие стадии технологической обработки. Установки атмосферной и вакуумной перегонки на данном этапе первичной переработки являются одними из наиболее энергоемких в ЭТК НПЗ, причем весь объем перерабатываемой сырой нефти должен быть нагрет до температуры приблизительно 350°C. В общем энергопотреблении на НПЗ доминируют несколько термодинамических процессов. В частности, процессы ректификации, потребляют большое количество тепловой и электрической энергии. Процесс ректификации реализуется на установках первичной переработки нефти, где потребление энергии установками АТ и АВТ составляют порядка 40% от общего потребления энергии. Поточная теплота продуктов атмосферной перегонки с повышенной температурой используется в последующих технологических процессах в блоке вакуумной перегонки.

Анализ энергоиспользования

Описанная выше схема интересна тем, что в некоторых технологических блоках системы возникают аппаратные и технологические потери. Такие системы представляют особый интерес, поскольку существующие потери есть ни что иное как потенциальный резерв энергосбережения. Так, например, из верхних частей колонн К-1 и К-2 отводятся потоки углеводородной ПГС с довольно высокими температурными параметрами, около 120-160 °С, что выше примерно на 50-60 °С аналогичных источников бросовой теплоты в технологии. Данные тепловые потоки после К-1 и К-2 охлаждаются сначала в аппаратах воздушного охлаждения (АВО-1 и АВО-2), а затем в водяных теплообменниках (ВХ-1 и ВХ-2) до относительно низких температур, которые составляют около 30-35 °С. Таким образом, охлаждение потока ПГС относительно высокого температурного уровня, сопровождается значительными потерями энергии, теплота которых рассеивается в окружающей среде. Поэтому, целесообразно использовать энергию охлаждения и конденсации углеводородной ПГС в энергоэффективных системах, которые позволят реализовать тепловой потенциал.

На основе технологического регламента схемы ЭЛОУ-АВТ-7 получены значения термодинамических параметрах располагаемых теплоносителей после ректификационных колонн К-1 и К-2 для блока атмосферной перегонки нефти. Материальные и тепловые потоки теплоносителей представлены в таблице 3.

Таблица 3

Материальные и тепловые потоки теплоносителей

№	Поток*	Выходные параметры		
		Температура t , °С	Расход G , кг/с	Тепловой поток Q , кВт
1	ПГС после отбензинивающей колонны К1 в систему АВО-1	143	43,2	7278,5
2	ПГС после атмосферной колонны К2 в систему АВО-2	117	25,3	2900,1
3	ПГС после отбензинивающей колонны К1 в систему ВОЦ-1	65	43,2	2791,4
4	ПГС после атмосферной колонны К2 в систему ВОЦ-2	65	25,3	1563,5

*Необходимо отметить, что тепловые потоки 1 и 2 рассчитаны с учетом их охлаждения и конденсации до температуры 65 °С, а потоки 3 и 4 рассчитаны с учетом переохлаждения конденсата ПГС до температуры 35 °С.

Итого, практически 15 МВт тепловой энергии попросту рассеивается в окружающей среде (ОС). Располагаемые тепловые потоки после отбензинивающей и атмосферной колонны (К-1 и К-2) системы ЭЛОУ-АВТ возможно использовать как в технологии производства, так и для нужд стороннего потребителя. С учетом постоянно возрастающей зависимости потребления ТЭР нефтеперерабатывающими комплексами и роста единичных мощностей смежных производств, возникает необходимость в дополнительном энергообеспечении, которое способствует эффективной и надежной эксплуатации основного и вспомогательного оборудования. Кроме того, для поддержания качественных условий в производственных зонах НПЗ необходимо обеспечивать комфортную климатическую среду. В связи с этим, в качестве перспективных направлений по утилизации бросовой теплоты системы ЭЛОУ-АВТ рассматривается возможность использования располагаемых мощностей ПГС [13] в энергоэффективных системах для нагрева воздуха, поступающего в печь, и для получения теплосетевой воды, идущей в индивидуальный тепловой пункт (ИТП). Это позволит сократить технологические и аппаратные потери с теплотой, за счет чего повысится энергетическая эффективность производства. Также, за счет подогрева воздуха снизится потребление топлива, что уменьшит нагрузку на вспомогательные системы технологии [14], сократятся затраты на покупку самого топлива в связи с повышением эффективности его использования, уменьшатся выбросы парогазовой смеси в атмосферу, за счет чего снизится химическое и тепловое загрязнение окружающей среды.

Предлагается рассмотреть технологическое решения по утилизации теплоты ПГС. Поскольку представленные тепловые потоки имеют различный температурный уровень, то с целью их эффективного использования необходимо распределить потоки по соответствующим ТА так, чтобы достигалась максимальная эффективность

теплоиспользования [15]. На рисунке 3 представлено перспективное решение по установке серии ТА для систем ИТП и подогрева воздуха.

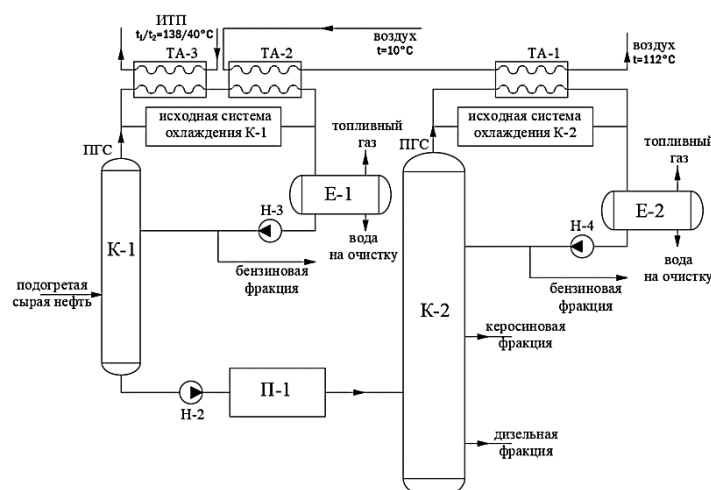


Рис.3. Модернизированная схема ЭЛОУ- АВТ Fig.3. Upgraded EDP-AVT scheme

Описание модернизированной схемы ЭЛОУ-АВТ

При охлаждении углеводородной ПГС после отбензинивающей колонны К-1 до температуры 65 °С имеем возможность использовать практически 7,3 МВт тепловой энергии в системе ИТП с температурным графиком $t_1/t_2=138/40$ °С посредством организации промежуточного нагрева теплоносителя в ТА-3. Также, предложено реализовать потенциал остаточной теплоты потока ПГС после К-1 в ТА-2 и теплоту верхнего погона атмосферной колонны К-2 в ТА-1 для нагрева наружного воздуха, идущего в печь на образование оптимального соотношения топливной смеси. Подобные решения по использованию теплоты ректификационных колонн подробно описываются в работе автора [16], а данные о целесообразности и экономической результативности такого решения обосновывается в соответствующих публикациях. Разработанная схема ИТП представленная на рисунке 4.

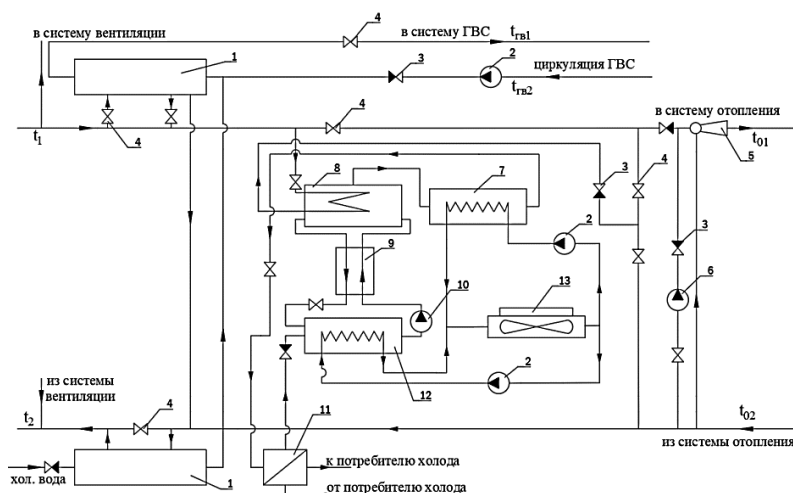


Рис.4 Схема ИТП с двухступенчатым присоединением подогревателей ГВС и с абсорбционной холодильной машиной: 1 - Подогреватель ГВС; 2 - циркуляционные насосы; 3 - обратный клапан; 4 - задвижка; 5 - струйный элеватор; 6 - центробежный насос; 7 - конденсатор абсорбционной холодильной машины (АБХМ); 8 - генератор АБХМ; 9 - теплообменник растворов; 10 - насос рабочего агента; 11 - испаритель АБХМ; 12 - абсорбер АБХМ; 13- аппарат воздушного охлаждения.

Описание принципиальной схемы ИТП

Теплосетевая вода, подогретая углеводородной ПГС в ТА-3, поступает на ИТП. Часть воды идет в систему вентиляции и в водоподогреватель ГВС второй ступени. Часть воды отбирается в генератор абсорбционной холодильной машины (АБХМ) и часть поступает в систему отопления. Отдав теплоту в генераторе АБХМ, вода подмешивается и через элеваторное смешение направляется в систему отопления. Обратный поток теплосетевой воды после системы отопления используется для подогрева холодной водопроводной воды в водоподогревателе ГВС первой ступени и затем поступает в тепловую сеть системы ТА-3. В генераторе АБХМ при нагреве выделяется легкокипящий компонент, после чего поступает в конденсатор, отдавая теплоту холодной воде, конденсируется, затем дросселируется и поступает в испаритель АБХМ. В испарителе АБХМ легкокипящий компонент испаряется, вырабатывая холод. Пары легкокипящего компонента поступают в абсорбер, где абсорбируются высококипящим компонентом. Затем, смесь, предварительно подогреваясь в теплообменнике растворов обратным потоком высококипящего компонента, поступает в верхнюю часть генератора АБХМ. Охлаждение конденсатора и абсорбера АБХМ осуществляется посредством организации вспомогательных контуров, где в качестве охлаждаемого теплоносителя выступает холодная вода, которая охлаждается в системе воздушного охлаждения (градирне). Такая схема позволяет обеспечить производство или стороннего потребителя необходимыми нагрузками на отопление, вентиляцию, кондиционирование и горячее водоснабжение (ГВС) в любой период года.

Описание системы подогрева воздуха

Как известно, практически ни один НПЗ не обходится без собственных источников генерации тепловой энергии, которые позволяют получить определенный вид энергоносителя высокого качества с требуемыми параметрами. С точки зрения энергоиспользования, наиболее перспективным вариантом реализации низкопотенциальной теплоты ПГС атмосферной ректификационной колонны К-2 является подогрев наружного воздуха, который поступает в печь для образования сбалансированного состава топливной смеси. Реализовать такое мероприятие предлагается за счет небольшой технологической модернизации, посредством организации дополнительного рекуперативного контура с теплообменниками ТА-1 и ТА-2, которые утилизируют шлемовую теплоту конденсатора колонны К-1 и всю тепловую нагрузку исходной системы охлаждения ПГС после колонны К-2. Это позволит практически полностью снизить нагрузки на вспомогательные системы охлаждения, а также приведет к существенной экономии природного газа за счет предварительного нагрева наружного воздуха, что в целом отразится на повышении КПД котла и эффективности использования ТЭР. Эксплуатация предложенных систем может осуществляться как в гибком, так и в постоянном режиме работы, что на этапе планирования и внедрения дает возможность реконструировать технологические участки без нарушения функциональности технологических операций по первичной переработке нефти в блоке атмосферной перегонки системы ЭЛОУ-АВТ.

Результаты

Предложенные перспективные направления энерго- и ресурсосбережения по использованию теплоты низкопотенциальных источников системы ЭЛОУ-АВТ в технологии производства на основе разработанных энергосберегающих мероприятий позволяют не только извлечь положительный эффект от совершенствования технологической схемы производства при существенной экономии ТЭР и повышения эффективности их использования, но и за счет реализации полученных энергоносителей возможно спрогнозировать значение экономического [17] и экологического эффекта [18]. Так, при использовании теплоты углеводородной ПГС в системе ИТП в количестве 7278,5 кВт для нужд производства или для продажи стороннему потребителю при стоимости 1000 рублей за 1 Гкал теплоты экономический эффект составит 28 млн. 310 тыс. рублей в год. За счет использования теплоты ПГС для подогрева воздуха в количестве 7254,96 кВт при стоимости природного газа 9 руб/нм³ экономический эффект составит 77 млн. 80 тыс. рублей в год. Суммарный экономический эффект от предложенных энергосберегающих решений составит 105 млн. 390 тыс. рублей в год, или в переводе на эквивалент условного топлива, экономия ТЭР составит 11,1 тыс. т.у.т/год. Данные об энергетической и экологической эффективности представлены в таблице 4.

Сравнительные характеристики предложенных решений

Мероприятие	Повышение эффективности использования топливных ресурсов, %	Экономический эффект, млн. руб/год	Сокращение выбросов, тыс. т CO ₂ /год
Подогрев теплосетевой воды, идущей в ИТП	2,49-4,39	28,31	8,95
Подогрев воздуха, идущего в печь	4,34-7,67	77,08	15,84
ИТОГО	6,83-12,06	105,39	24,79

Обсуждение

Таким образом, представленные в настоящей статье направления по использованию теплоты низкопотенциальных источников в схеме НПЗ, с одной стороны показывают их перспективность за счет утилизации значительного количества теплоты в некоторых структурных элементах системы первичной переработки нефти при незначительном конструктивном вмешательстве в технологию производства, что целом позволяет сократить тепловые потери и уменьшить потребление природного газа. Кроме того, реализация предложенных мероприятий позволит улучшить экологическую обстановку в регионе. С другой стороны, такие решения требуют дополнительных ресурсов материального-технического и временного характера на этапах проектирования, разработки и возведения вспомогательных систем и основных объектов на территории производственной зоны НПЗ, кроме того, реконструкция технологических узлов схемы должна планироваться и производиться для конкретной модификации системы ЭЛОУ, поскольку в каждой технологии имеются соответствующие особенности и нюансы как по энергетической, так и по конструктивной части. Также, необходимо отметить, что для оценки целесообразности при разработке подобных решений, необходимо выявлять потенциальных потребителей энергии на близлежащей территории технологической зоны производства и определять их потребность в соответствующих мощностях, производить детальный анализ термодинамических и технико-экономических показателей как самих решений, так и конечных модификаций технологических блоков схемы производства, преимущественно, на основе инновационных методик математического и имитационного моделирования [19].

Предложенные направления не представляет собой полного решения имеющихся проблем и поставленных задач в сфере нефтехимической промышленности, но дают начало для научно-технического обеспечения при разработке программ технического перевооружения НПЗ, а также формируют перечень методических рекомендаций, существенно упрощающий дальнейшую работу научно-исследовательских институтов и проектных организаций с целью эффективного использования ТЭР в нефтеперерабатывающем комплексе.

Выводы

1. Проанализированы основные этапы первичной переработки нефти на примере потоковой схемы НПЗ и выявлены самые энергоемкие подсистемы.
2. Выполнен анализ технологических процессов электрообессоливающей установки с атмосферной трубчаткой (ЭЛОУ-АТ) и выявлены вакантные источники тепловой энергии относительно высокого потенциала.
3. Предложены направления по использованию низкотемпературных энергоносителей, а также разработана модернизированная схема на примере системы ЭЛОУ-АТ в которой утилизируется теплота углеводородной ПГС в системах, предназначенных для технологических и коммунально-хозяйственных нужд.
4. Определен энергетический, экономический и экологический эффект от использования низкопотенциальной теплоты при реализации предложенных направлений в системе ЭЛОУ-АТ технологической схемы НПЗ, а также даны рекомендации по дальнейшему развитию энергоэффективных решений.

Литература

1. Голышева Е.А., Жданев О.В., Корнев В.В., и др. Нефтехимическая отрасль России: анализ текущего состояния и перспектив развития // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93. № 10. С. 1499–1507. URL: <https://doi.org/10.31857/S0044461820100126>

2. Жданеев О.В., Коренев В. В., Рубцов А. С. О приоритетных направлениях и развитии технологий переработки нефти в России (обзор) // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93. Вып. 9. С. 1263–1274.
3. Грунтович Н.В., Шенец Е.Л. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2014;(2):58-66.
4. Ханило Д. А. Анализ текущего состояния и проблем функционирования предприятий нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплексов на современном этапе // Молодой ученый. 2019. № 35 (273). С. 49-53.
5. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гатина Р.З., Гафуров Н.М. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017;19(9-10):21-31. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-9-10-21-31>
6. Алдошин С.М. Глубокая переработка углеводородных ресурсов / Материалы XIV научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса» / Под редакцией А.В. Назарова и Б.П. Туманяна – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. 174 с.
7. Федоров Б. Г. Выбросы углекислого газа: углеродный баланс России // Проблемы прогнозирования. 2014. № 1(142). С. 63-78.
8. Глаголева О. Ф., Пискунов И. В // Энергосбережение - приоритетная задача современной нефтегазопереработки // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. № 1(109). С. 32-35.
9. Рейшахрит Е. И. Особенности управления энергоэффективностью на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли // Записки Горного института. 2016. Т. 219. С. 490-497.
10. Альфа Лаваль в России / Теплообменники со сварным пакетом пластин и разборным корпусом / Примеры проектов / Нефтепереработка / Comapblocs recover energy at Canadian refinery.pdf. – URL: https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/local/russia/ptd/ppi00070ru-_shell_case-story.pdf (дата обращения: 25.05.2021)
11. Глаголева О. Ф., Капустин В. М. Физико-химические аспекты технологии первичной переработки нефти (обзор) // Нефтехимия. 2018. Т. 58. № 1. С. 3-10. DOI 10.7868/S002824211801001X.
12. Рогалев М.С. Описание, анализ технологической схемы и пусконаладочных работ установки ЭЛОУ-АТ Антипинского нефтеперерабатывающего завода // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. №4. С. 81-85.
13. Сетин С.П. Системный анализ и управление процессами первичной переработки нефти: дис. канд. тех. наук: 05.13.01/ Сергей Петрович. Самара, 2016. 203 с.
14. Миркин А. З., Яицких Г.С., Сюняева Г.С., Яицких В. Г. Снижение энергопотребления на НПЗ. Oil&Gas Journal Russia, № 5 (83), май, 2014 г., стр. 40–43.
15. Lebedev V.A. Exergy pinch analysis of a furnace in a primary oil refining unit/ V.A. Lebedev, E.A. Yushkova, I. S. Churkin // E3S Web of Conferences (TPACEE 2019). 2019. Vol. 124. p. 00001.
16. Патент № 2767243 С1 Российская Федерация, МПК C10G 7/00, B01D 3/14. Энергоэффективная линия нагрева сырья на технологической установке ЭЛОУ-АВТ: № 2021122649 : заявл. 29.07.2021; опубл. 17.03.2022 / М. В. Канищев, Р. Е. Чибисов, М. А. Васильев, Л.М. Ульев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "РусЭнергоПроект".
17. Шелгинский А.Я. Разработка энергосберегающих и экологически прогрессивных направлений производства минеральных удобрений на основе высокоэффективных тепловых схем и интенсификации тепломассообмена: Диссертация д-ра техн. наук. М., 1997. – 278 с.
18. Котляров Д. А. Оценка экологического эффекта развития альтернативной энергетики на территории Дальневосточного федерального округа // Заметки ученого. 2022. № 1-1. С. 290-298.
19. Габдракипов И.А., Липенко А. И., Бабич А. Н., и др. Моделирование процесса атмосферной перегонки нефти в среде HYSYS // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: Сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Пенза, 10 июня 2020 года. Пенза: "Наука и Просвещение" 2020. С. 29-32.

Авторы публикации

Федюхин Александр Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры Промышленных теплоэнергетических систем, Московский энергетический институт.

Звончевский Александр Геннадьевич – студент, Московский энергетический институт.

References

1. Golysheva E.A., Zhdanev O.V., Korenev V.V., et al. Petrochemical industry in Russia: analysis of the current state and development prospects. *Journal of Applied Chemistry*. 2020. V. 93. No. 10. S. 1499–1507. URL: <https://doi.org/10.31857/S0044461820100126>
2. Zhdanev O.V., Korenev V.V., Rubtsov A.S. On priority directions and development of oil refining technologies in Russia (review). *Journal of Applied Chemistry*. 2020. V. 93. Issue. 9. S. 1263–1274.
3. Gruntovich N.V., Shenets E.L. INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF CONSUMPTION OF FUEL AND ENERGY RESOURCES OF THE ENTERPRISE IN THE INTRODUCTION OF ENERGY SAVING MEASURES. *Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS*. 2014;(2):58-66.
4. Khanilo D.A. Analysis of the current state and problems of functioning of enterprises of the oil refining and petrochemical complexes at the present stage. *Young scientist*. 2019. No. 35 (273). pp. 49-53.
5. Gafurov A.M., Osipov B.M., Gatina R.Z., Gafurov N.M. POSSIBLE WAYS TO REDUCE CARBON DIOXIDE EMISSIONS. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2017;19(9-10):21-31. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-9-10-21-31>
6. Aldoshin S.M. *Deep processing of hydrocarbon resources*. Proceedings of the XIV scientific-practical conference "Actual tasks of the petrochemical complex" / Edited by A.V. Nazarov and B.P. Tumanyan. M.: Publishing Center of the Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina, 2021. 174 p.
7. Fedorov B.G. Carbon dioxide emissions: the carbon balance of Russia. *Problems of Forecasting*. 2014. No. 1(142). pp. 63-78.
8. Glagoleva O.F., Piskunov I. V. Energy saving is a priority task of modern oil and gas processing. *Business magazine Neftegaz.RU*. 2021. No. 1(109). pp. 32-35.
9. Reishahrit E. I. *Features of energy efficiency management at oil refining enterprises*. *Zapiski Gornogo instituta*. 2016. V. 219. S. 490-497.
10. Alfa Laval Russia / Welded plate heat exchangers with demountable shells / Case studies. *Oil refining*. *Compablocs recover energy at Canadian refinery.pdf*. – URL: https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/local/russia/ptd/ppi00070ru-_shell_case-story.pdf (Accessed 25.05.2021)
11. Glagoleva O.F., Kapustin V. M. Physico-chemical aspects of primary oil refining technology (review). *Petrochemistry*. 2018. V.58. No.1. S.3-10. DOI 10.7868/S002824211801001X.
12. Rogalev M.S. Description, analysis of the technological scheme and commissioning of the ELOU-AT installation of the Antipinsky Oil Refiner. *Izvestiya of higher educational institutions. Oil and gas*. 2007. No. 4. pp. 81-85.
13. Setin S.P. System analysis and management of primary oil refining processes: Cand. cand. those. Sciences: 05.13.01/ Sergey Petrovich. Samara, 2016. 203 p.
14. Mirkin A.Z., Yaitskikh G.S., Sunyaeva G.S., Yaitskikh V.G. Reducing energy consumption at refineries. *Oil&Gas Journal Russia*, No. 5 (83), May 2014, pp. 40–43.
15. Lebedev V.A. *Exergy pinch analysis of a furnace in a primary oil refining unit*/ V.A. Lebedev, E.A. Yushkova, I. S. Churkin. E3S Web of Conferences (TPACEE 2019). 2019 Vol. 124.p. 00001.
16. Patent No. 2767243 C1 Russian Federation, IPC C10G 7/00, B01D 3/14. *Energy-efficient raw material heating line at the ELOU-AVT process plant*: No. 2021122649: Appl. 07/29/2021: publ. March 17, 2022 / M. V. Kanishchev, R. E. Chibisov, M. A. Vasiliev, L. M. Ulyev; applicant Limited Liability Company "RusEnergoproekt".
17. Shelginsky A.Y. *Development of energy-saving and environmentally progressive directions of production of mineral fertilizers based on highly efficient thermal schemes and intensification of heat and mass transfer*: Dissertation of Doctor of Technical Sciences. M., 1997. 278 p.

18. Kotlyarov D. A. Evaluation of the ecological effect of the development of alternative energy in the territory of the Far Eastern Federal District. *Notes of a scientist*. 2022. No. 1-1. pp. 290-298.

19. Gabdrakipov I.A., Lipenko A.I., Babich A.N., et al. Modeling the process of atmospheric distillation of oil in the HYSYS environment. *Science and education: preserving the past, creating the future*: Collection of articles of the XXVIII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts, Penza, June 10, 2020. Penza: "Science and Education" 2020. S. 29-32.

Authors of the publication

Alexander V. Fedyukhin – Moscow Power Engineering Institute, Russia.

Zvonchevsky Alexander Gennadievich – Moscow Power Engineering Institute, Russia.

Получено *02.05.2022г.*

Отредактировано *02.05.2022г.*

Принято *16.05.2022г.*