

Ильина Т. Н., д-р техн. наук, проф.,  
Бельмаз Д. Н., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АНАЛИЗ И СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ilina1950@rambler.ru

Представлен анализ вторичных энергетических ресурсов, образующихся в различных цехах и вспомогательных службах нефтеперерабатывающего предприятия. На примере предприятия с суммарной мощностью нефтеперерабатывающих установок 400 тыс. тонн по сырью в год даны расчеты сбросной теплоты оборотной воды, воздуха с аппаратов воздушного охлаждения, дымовых газов трубчатых печей, сбросной теплоты вытяжного воздуха различных зданий, паров нефтепродуктов и подтоварной воды в складском хозяйстве предприятия. Показана возможность использования вторичных энергетических ресурсов в системах создания микроклимата зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), вторичные энергоресурсы, сбросное тепло, установка переработки нефти, складское хозяйство, вспомогательные службы.

Анализ различных энергетических потоков нефтеперерабатывающего предприятия, вторичных энергетических ресурсов, образующихся в различных цехах и вспомогательных службах, а также возможных способов их применения приобретает в настоящее время важнейшее значение для энергосбережения.

Проведенные нами исследования [1] показали, что процент теплоты внешних энергетических потоков, используемой на установках переработки нефти в технологическом процессе зачастую невысок, и может составлять около 20 %, однако на предприятии существуют и другие источники сбросного тепла.

Для максимально возможной утилизации вторичной теплоты нефтеперерабатывающего завода необходима передача этой теплоты потребителям, не входящим в состав предприятия. Сбросное тепло нефтеперерабатывающих заводов применяется для отопления близлежащих жилых поселков. На установке в Валансьете (Франция), за счет вторичных энергетических ресурсов нагревают воду для отопления жилых зданий, расположенных в 1,5 км от предприятия [2,3]. Подобная система эксплуатируется в Гетеборге (Швеция), где жилые здания обеспечены теплотой с нефтеперерабатывающего завода и распространено применение нагретой воды для теплоснабжения теплиц и выращивания сельскохозяйственной продукции [2].

Недостатком вышеуказанных способов является то, что они применимы лишь в холодный период года и в странах с холодным и умеренным климатом.

В настоящее время при рассмотрении вторичных энергетических ресурсов на установках переработки нефти рассматривают теплоту дымовых газов, отработанного пара, оборотной воды и нагретого воздуха [4, 5]. При этом не

принимают во внимание теплоту вытяжного воздуха промышленных зданий (при их наличии на предприятии), теплоту соледержащих стоков и подтоварной воды ввиду их сравнительно «небольшого» энергетического потенциала в сравнении с вышеупомянутыми источниками.

В работе [6] приведен способ использования теплоты вытяжного воздуха для технологических нужд установки атмосферной перегонки нефти. Тем самым указаны дополнительные возможности по энергосбережению.

Сбросная теплота нефтеперерабатывающего предприятия подразделяется на две части: вторичное тепло, источником, которого выступает технологический процесс, и тепло, источником которого служат вспомогательные службы предприятия и складское хозяйство.

Вспомогательные службы предприятия: лаборатории, административно-бытовые корпуса, механические мастерские, котельные и т.п. располагаются, как правило, в капитальных зданиях, инженерные системы которых могут выступать источником вторичных энергетических ресурсов.

Таким образом, для максимально эффективного использования теплоты на нефтеперерабатывающем заводе необходима утилизация вторичных энергетических ресурсов из всех возможных источников.

Сбросная теплота в технологическом процессе включает в себя теплоту, теряемую с дымовыми газами технологических печей, теплоту, отдаваемую оборотной воде и воздуху в процессе охлаждения товарной продукции. Часть тепла теряется безвозвратно через изоляцию технологического оборудования и трубопроводов.

Если на территории нефтеперерабатывающего предприятия расположены здания, следует

также выделить теплоту вытяжного воздуха, выбрасываемого в атмосферу.

Сбросное тепло, образующееся в складском хозяйстве нефтеперерабатывающего завода, включает в себя несколько видов теплоты: теплоту, выделяемую в атмосферу при «дыхании» резервуаров; теплоту, поступающую в промышленную канализацию при сбрасывании подтоварной воды из резервуаров; теплоту, теряемую через изолированные и неизолированные поверхности трубопроводов и оборудования.

К вторичным энергетическим ресурсам на складах нефтеперерабатывающих предприятий следует отнести теплоту, поступающую в атмосферу при «дыхании» резервуаров, и теплоту подтоварной воды, сбрасываемой в канализацию.

Улавливание данных видов низкопотенциальной теплоты представляется весьма затруднительным, в том числе из-за периодичности её образования.

Сбросное тепло, выделяемое вспомогательными службами предприятия, в основном представлено теплотой вытяжного воздуха, выбрасываемого из зданий различного назначения. Также следует упомянуть теплоту дымовых газов котельных и теплоту выхлопных газов дизель - генераторов (при их наличии на предпри-

ятии), служащих для резервной выработки электроэнергии. Вторичное тепло вытяжного воздуха зданий и дымовых газов котельных образуется постоянно, что создаёт предпосылки для его использования. Улавливание теплоты выхлопных газов дизель - генераторов, работающих периодически, может быть экономически неоправданным.

В данной работе дана оценка различных видов вторичных энергетических ресурсов, образующихся в различных цехах нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия, расположенного в Волгоградской области и включающего в себя две установки переработки нефти мощностью 200 тыс. тонн в год каждая, работающие параллельно, а также складское хозяйство (резервуарные парки) и вспомогательные службы предприятия.

Для расчета теплоты, передаваемой атмосферному воздуху, оборотной воде, солесодержащим стокам и подтоварной воде на предприятии, воспользуемся уравнением теплового баланса:

$$Q = C \cdot G \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $G$  – расход теплоносителя кг/час;  $C$  – массовая теплоемкость, кДж/кг\*К.

Результаты расчетов, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

### Теплота, сбрасываемая в окружающую среду

Источник тепловых выбросов	Нагретого воздуха	Оборотной воды	Солесодержащих стоков	Подтоварной воды	Суммарно $Q_{\text{нпт}}$
Абсолютное значение, ГДж/час	2,155	3,259	0,038	0,022	5,474

Таблица 2

### Теплота дымовых газов трубчатых печей

Расход $G$ , кг/час	Температура		Теплоемкость в интервале 500-220 °С, кДж/(кг·К)	Величина утилизируемой теплоты
	начальная, °С	конечная, °С		ГДж/час
2511,2	500	220	0,674	0,474

Как видно из табл. 2, из дымовых газов трубчатых печей возможно получение 0,474 ГДж/час теплоты.

Суммарная величина вторичной теплоты одной технологической установки нефтеперерабатывающего завода составляет  $5,474 + 0,474 = 5,948$  ГДж/час.

В пределах технологической установки, расположено здание насосной подачи жидкого топлива. Оценка затрат на отопление и величин сбросной теплоты инженерных систем данного здания приведена в табл.3.

Таблица 3

### Энергетические потоки здания насосной подачи жидкого топлива

Расход энергии, кДж/час	Объем вытяжного воздуха, м <sup>3</sup> /час	Температура вытяжного воздуха (в зимний период), °С	Температура нагрева, °С	Температура охлаждения вытяжного воздуха в утилизаторах, °С	Утилизируемая сбросная низкопотенциальная теплота, кДж/час
66411,5	980	16	-25 ... +16	+14.... +2	12465,6

Теплоемкость воздуха принятая при расчетах равна 1,06 кДж/кг, без учета влагосодержания.

Сбросная теплота насосной подачи жидкого топлива – 0,0125 ГДж/час по сравнению со

сбросной теплотой НПЗ 5,948 ГДж/час незначительна.

Величина сбросной теплоты с учетом того, что в пределах предприятия расположены две установки переработки нефти, работающие параллельно, приведена в табл.4.

Таблица 4

**Сбросная теплота нефтеперерабатывающих установок суммарной мощностью 400 тыс. тонн в год по сырью**

Сбросная теплота от одной установки, ГДж/час (%)	Сбросная теплота от двух установок, ГДж/час (%)	В том числе от инженерных систем зданий, ГДж/час (%)
5,9605 (50)	11,921 (100)	0,025 (0,21)

Оценку сбросного тепла (табл. 5), образующегося в складском хозяйстве нефтеперерабатывающего завода, проводили с учетом того, что товарные нефтепродукты хранятся в резервуарах: температура хранения бензиновой фракции составляет не более 30 °С, температура хранения фракции печного топлива составляет не более 40 °С, температура хранения мазута около 90 °С.

Согласно [4], в ходе каждой операции слива (налива) товарных нефтепродуктов, на каждый кубический метр переливаемого объема, в атмосферу выбрасывается (вытесняется) 1,1-1,4 м<sup>3</sup>

паровоздушной смеси (так называемое «большое» дыхание).

Температура окружающей среды в теплый период года (30 °С) принята по средней максимальной температуре воздуха наиболее теплого месяца СНиП 23-01-99. Для теоретической оценки величины теплоты, извлекаемой из нагретых паров, выделяемых при «большом» дыхании резервуаров принят диапазон охлаждения от температуры паров до температуры окружающей среды в летний период. Малые дыхания не учитываются, так как их величина по сравнению с большим дыханием незначительна.

Таблица 5

**Сбросная теплота паров нефти и нефтепродуктов, образующихся при приеме, хранении и отгрузке товарных нефтепродуктов и нефти (из расчета на одну установку)**

Наименование продукта	Q, кг/час	Температура, °С	Плотность нефтепродуктов, кг/м <sup>3</sup>	Объемный расход, м <sup>3</sup> /час			Диапазон охлаждения паров, °С	Потенциально утилизируемая теплота, кДж/час
Прямая бензиновая фракция	5423,3	30	739,9	7,3	9,16	9,16	-	-
Фракция печного топлива	7116,7	40	816,0	8,7	10,90	10,90	от+40 до+30	231,1
Мазут	12341,7	90	921,7	13,4	16,74	16,74	от+90 до+30	2129,1
Нефть	25000,0	> 5			-		-	-

Как показали наши расчеты (табл.5) , при хранении и отгрузке нефтепродуктов с двух установок теоретическая величина утилизируе-

мой теплоты составит ( 2129,1 + 231,1) · 2 = 4720,46 кДж/час, или 0,0047 ГДж/час.

Результаты расчета величины теплоты подтоварной воды, сбрасываемой в канализацию, приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Сбросная теплота подтоварной воды, образующейся при приеме, хранении и отгрузке товарных нефтепродуктов и нефти (на одну установку)**

Продукт	Расход, кг/час	Температура, °С	Диапазон охлаждения, °С	Потенциально утилизируемая теплота, кДж/час
Подтоварная вода прямых бензиновых фракций	3	30	-	-
Подтоварная вода фракции печного топлива	3	40	+40...+30	125,7
Подтоварная вода мазута	1	90	+90...+30	251,4
Нефть	125	окр. среды.	-	-

Из данных табл. 6, следует, что потенциальная величина утилизируемой теплоты подтоварной воды при параллельной работе двух установок составляет 754,2 кДж/час, или 0,0008 ГДж/час, а суммарная величина потенциально утилизируемой теплоты со всего складского хозяйства НПЗ при параллельной работе двух установок составляет 5474,66 кДж/час или 0,0055 ГДж/час.

Вторичная теплота общезаводского хозяйства представлена теплотой вытяжного воздуха зданий различного назначения и теплотой дымовых газов котельной. Суммарные энергетические потоки по зданиям общезаводского хозяйства нефтеперерабатывающего завода представлены в табл. 7, сведения о теплоте дымовых газов котельной приведены в табл. 8.

Таблица 7

**Суммарные энергетические потоки зданий вспомогательного хозяйства НПЗ**

Теплота необходимая для отопления зданий в зимний период		Утилизируемая теплота в зимний период	
кДж/час	ГДж/час	кДж/час	ГДж/час
2222669,3	2,223	408269,6	0,408

Таблица 8

**Теплота дымовых газов котельной**

Расход, кг/час	Температура		Теплоемкость в интервале 240 -220 °С, кДж/(кг·К)	Величина утилизируемой теплоты ГДж/час
	начальная, °С	конечная, °С		
5976	240	220	1,088	0,130

Как показали наши расчеты (табл.4-8) суммарная утилизируемая теплота во вспомогательном хозяйстве нефтеперерабатывающего предприятия составляет 0,538 ГДж/час.

Итоговая оценка величины вторичной теплотой на нефтеперерабатывающем предприятии

суммарной мощностью 400 тыс. тонн год и энергетические затраты на отопление зданий и сооружений в зимний период приведены в табл. 9.

Таблица 9

**Вторичные энергетические ресурсы НПЗ и энергетические затраты на отопление зданий в зимний период**

Наименование цеха предприятия	Величина вторичной теплоты,		Величина теплоты для отопления зданий	
	ГДж/час	%	ГДж/час	%
Технологические установки/в том числе на одну установку	11,921/5,9605	96,64	0,066	2,88
Складское хозяйство	0,0055	0,06	-	-
Вспомогательное хозяйство	0,408	3,3	2,223	97,12
Всего	12,335	100	2,289	100

Таким образом, исходя из результатов, проведенных нами расчетов, следует, что нефтеперерабатывающий завод суммарной мощностью

400 тыс. тонн год располагает значительными вторичными энергетическими ресурсами, составляющими 12,335 ГДж/час:

- большая часть вторичной энергии сконцентрирована на технологической установке – 11,921 ГДж/час (96,64 %);

- вторичные энергетические ресурсы складского хозяйства крайне малы – 0,0055 ГДж/час (0,06 %) и их утилизация экономически нецелесообразна;

- затраты на отопление зданий вспомогательного хозяйства значительны и для данного предприятия достигают величины 2,289 ГДж/час (18,56 %) от всех вторичных энергетических ресурсов предприятия;

- инженерные системы зданий предприятия сами являются значительным источником вторичного тепла 0,4205 ГДж/час (3,41 %), которое наиболее целесообразно утилизировать в этих же системах, при этом энергетические затраты на отопление снизятся на величину до 0,4205 ГДж/час (18,39 %);

Для возможности круглогодичной утилизации теплоты потребители вне завода должны быть способны утилизировать теплоту в холодный период года и искусственный холод в теплое время года в системах создания микроклимата зданий и сооружений [8-12].

Следует отметить, что преобразование вторичных энергетических ресурсов в теплоту более высокого потенциала и искусственный холод возможно с помощью обратимых тепловых насосов [8,13,14].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильина Т.Н., Бельмаз Д.Н. Способы утилизации сбросного тепла от установок первичной переработки нефти // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 198-202.

2. Голомшток Л.И., Халдей К.З. Снижение потребления энергии в процессах переработки нефти. (Экономия топлива и электроэнергии). – М.: Химия, 1990, 144 с.

3. Lelen R. // Petrol et techn. 1978. V. 77 N 11. P. 60

4. C.V. Panchal Waste Heat to Power. Selecting a Technology. Houston, TX September 25, 2007

5. I.R. Calcott, A.J. Tuckett, A.H. Bell Waste Heat Recovery from Process Plants // WCCE7 July 2005

6. Бельмаз Д.Н., Ильина Т.Н. Инновационный способ утилизации теплоты вытяжного воздуха на нефтеперерабатывающем заводе / Наука, образование, бизнес: проблемы, перспективы, интеграция: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2013 г. В 4 частях. Часть I // Мин-во обр. и науки – М.: «АР-Консалт», 2013 г. С. 58 - 61

7. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю. ДЕНЬГИ НА ВЕТЕР... Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer. URL: <http://wwtec.ru/index.php?id=362> (дата обращения: 1.04.2014)

8. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Сериков С.В. Утилизация вторичного тепла в производственных цехах хлебопекарных предприятий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 146-149.

9. Патент РФ № 2011108998/28, 10.03.2011. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Сериков С.В. Устройство для регенерации энергии в установке техники кондиционирования и вентиляции // Патент на полезную модель №106938.2011. Бюл. № 21.

10. Минко В.А., Ильина Т.Н., Потапова О.Н. Анализ способов утилизации вторичного тепла от технологического оборудования в цехах молочных комбинатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №4. С. 109 – 112.

11. Ильина Т.Н., Юдин Р.И. Утилизация тепловой энергии холодильного оборудования Губкинского мясокомбината // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве в строительстве городов: матер. Междунар. науч. – практ. конф. / Белгор. гос. Технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. С. 244-248.

12. Сериков С.В., Ильина Т.Н. Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 53-55.

13. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Вережкин О.В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных жилых домов Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2000. №3. С. 142-146.

14. Кушев Л.А., Золотухин А.П., Савкин Д.А. Применение инъекции в тепловой насосной установке для повышения энергоэффективности системы // Инновационные материалы и технологии : сб. докладов Междунар. науч. – практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2012, ч.1. С. 167-174.