

УДК 621.5;621.65

И. М. Пискун
ОАО «НАФТАН»

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РЕКУПЕРАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Промышленное производство Республики Беларусь относится к высокотехнологичным и энергоемким отраслям. Наибольший вклад в производство промышленной продукции вносят машиностроительный и металлообрабатывающий комплекс (19,3%), а также химическая и нефтехимическая промышленность (12%). В структуре конечного энергопотребления на промышленность приходится до 50% топливно-энергетических ресурсов, импорт которых составляет до 85%. Оценка суммарного количества низкопотенциальной тепловой энергии, обращающейся на наиболее крупных предприятиях Беларуси, составляет порядка 1200 МВт, что сопоставимо с мощностью одного энергоблока строящейся Белорусской АЭС.

Приведенные цифры свидетельствуют об огромном потенциале применения технологий рекуперации низкопотенциального тепла, в первую очередь на промышленных производствах.

Одним из решений является предлагаемый компрессионный тепловой насос, отличающийся тем, что в нем используется доступное, недорогое и безопасное рабочее тело – смесь паров воды и воздуха, в качестве теплообменника-испарителя – струйный аппарат, а в качестве компрессора – ротационно-пластинчатый вакуум-насос.

При оценке технико-экономических показателей от внедрения рассматриваемого паровоздушного теплового насоса на технологической установке ОАО «НАФТАН» для рекуперации низкопотенциального тепла оборотной воды системы охлаждения технологического оборудования установлено, что при его круглогодичном применении срок окупаемости составит ~3,7 года.

Ключевые слова: тепловой насос, рабочее тело, паровоздушная смесь, низкопотенциальное тепло, рекуперация, компрессионный цикл, струйный аппарат, вакуум-компрессор, паровоздушная смесь, энергоэффективность.

I. M. Piskun
JSC “NAFTAN”

THE EVALUATION OF CAPABILITY OF APPLICATION OF LOWER-GRADE WASTE HEAT RECUPERATION TECHNOLOGY AT INDUSTRIAL PRODUCTION IN REPUBLIC OF BELARUS

Industrial production in Republic of Belarus belongs to high-technology and power-consuming fields. The most major contribution to manufacturing of industrial products make machine-building and metal-processing facilities (19.3%), as well as chemical and petrochemical industry (12%). In a structure of final energy consumption, the industry accounts for up to 50% of the share of fuel and energy resources, up to 85% of these resources are imported. The evaluation of total amount of low-potential thermal energy, that is in circulation of the biggest enterprises of Belarus amounts about 1,200 MW, that is comparable to one power unit of Belorussian nuclear power plant that is under construction now.

Aforementioned statistics demonstrate huge capability of application of lower-grade waste heat recuperation technology at industrial production in the first place. As a solution may be proposed compression thermal pump, that use accessible, cheap and safe reaction mass – mixture of vapor and air in the capacity of main reaction mass, jet device – as evaporator (boiler) and rotary vane vacuum pump – as compressor.

During the assessment of technical and economic activities obtained after adaptation of aero-steam vacuum pump that is under discussion at JSC “NAFTAN” processing plant for the purpose of recuperation of lower-grade waste heat of circulating water in cooling system of processing equipment was established that during year-round use of this pump payback period will come to about 3.7 years.

Key words: thermal pump, reaction mass, aero-steam mixture, lower-grade waste heat, recuperation, compressive cycle, jet device, vacuum compressor, power efficiency.

Введение. Как известно, Республика Беларусь относится к странам, не имеющим в достаточном количестве собственных топливно-энергетических ресурсов (импорт составляет до 85% от используемых энергоресурсов). Однако

опыт многих государств, также ограниченных в энергоресурсах (Швейцария, Дания, Япония), показывает, что экономика может динамично развиваться за счет внедрения энергосберегающих мероприятий и энергоэффективных технологий.

За последние 15 лет в Беларуси многое удалось сделать в этом направлении. Основным толчком явилось поднятие тарифов в начале 2007 г. на импортируемый природный газ из России в 2 раза (до 100 долл. США за 1 тыс. м³) и дальнейший переход на уровень мировых цен. Переход на рыночные цены стимулировал Правительство Республики Беларусь принять ряд соответствующих законодательных актов и республиканских программ, направленных на повышение энергетического потенциала государства.

Основная часть. В результате принятое законодательство и внедрение мероприятий по энергосбережению и оптимизации топливно-энергетического баланса государства позволили к 2015 г. снизить энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) более чем в 2,5 раза по сравнению с 2003 г. Однако энергоемкость производств передовых экономически развитых государств на сегодняшний день имеет значения в 1,1–1,5 раза ниже. Так, энергоемкость ВВП в Республике Беларусь составляет порядка 170 кг в нефтяном эквиваленте на 1 тыс. долл. США (в ценах 2010 г. по паритету покупательской способности). К сравнению, у Германии, Японии, Франции этот показатель составляет порядка 100 кг нефтяного эквивалента на 1 тыс. долл. США ВВП (рис. 1) [1].

Максимальная энергоемкость производимой промышленной продукции приходится на долю ключевых белорусских товаров, приносящих валютную выручку государству: автомобили, дорожная и строительная техника, трактора и другая сельскохозяйственная техника, минеральные удобрения, топливо и другие продукты нефтепереработки, химические волокна, продукты нефтехимии, мясомолочная и сельскохозяйственная продукция. Основные энергозатраты приходятся на машиностроение и металлообработку, нефтепереработку и

нефтехимию, электроэнергетику. Однако промышленность не является единственным крупным потребителем импортируемых энергоносителей. Если в целом рассматривать энергопотребление Беларуси, то видно, что лишь 45% энергозатрат приходится на промышленное производство (рис. 2). Вторым крупнейшим потребителем энергоносителей является коммунальное хозяйство (порядка 30%) [2].

На основании приведенных на рис. 1 и 2 данных становится очевидным, что сокращение энергопотребления как в промышленности, так и в коммунальном хозяйстве имеет определяющее значение для экономики Республики Беларусь. В связи с этим стратегическими целями госпрограммы по энергосбережению до 2021 г. названы: «сдерживание роста валового потребления топливно-энергетических ресурсов, увеличение использования местных топливно-энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии» [3]. Планируется снижение энергоемкости ВВП не менее 2% к уровню 2015 г. Обеспечение этих планов должно быть выполнено путем «внедрения современных энергоэффективных технологий; энергосберегающего оборудования; структурной перестройки экономики, направленной на развитие менее энергоемких производств; «...в ЖКХ использования инновационных и энергоэффективных технологий; снижения потерь в теплосетях» [3].

Однако в современных условиях для Беларуси стало важно не только сокращение общего энергопотребления, но и появление очевидной необходимости структурного преобразования энергетического баланса государства. В частности, принятое законодательство в области энергосбережения и развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и местных видов топлива (МВТ) позволило существенно повысить долю вышеупомянутых источников в балансе государства.

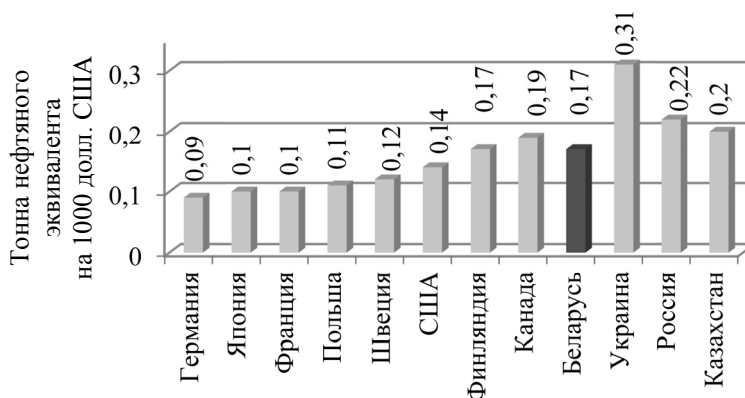


Рис. 1. Показатели энергоемкости ВВП 2015 г. в странах мира (в ценах 2010 г. по паритету покупательской способности) на основе данных Международного энергетического агентства [1]

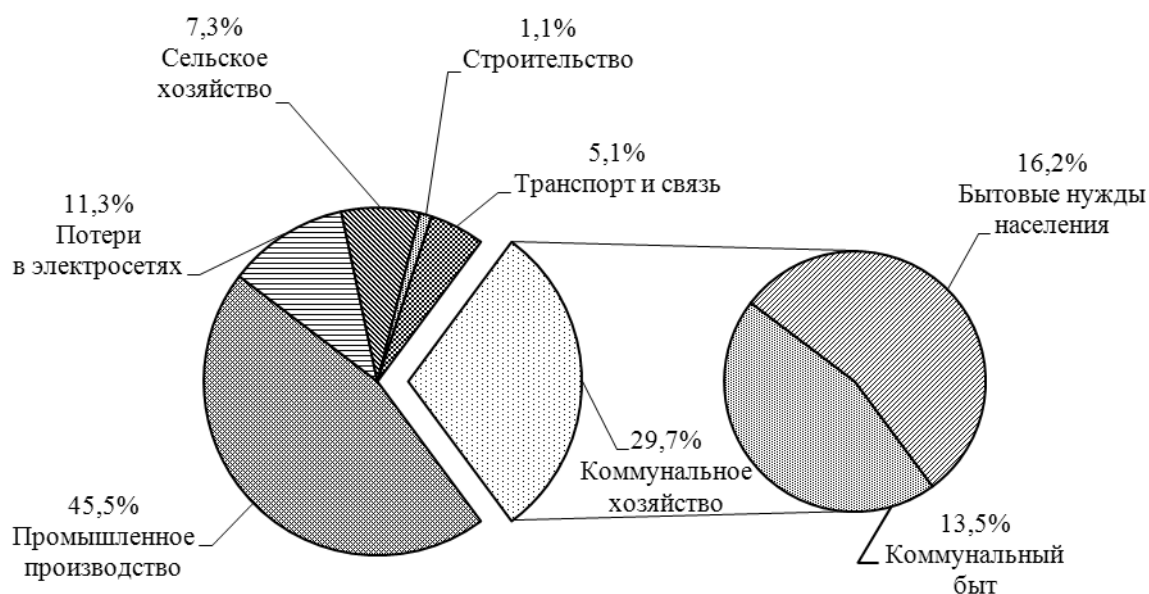


Рис. 2. Структура конечного энергопотребления Республики Беларусь

Законодательство дало возможность производителям электроэнергии (с помощью ВИЭ) реализовывать электроэнергию в сети ГПО «Белэнего» с повышающими коэффициентами относительно тарифов для промышленных предприятий. В результате в Беларуси с 2012 по 2017 г. объем электроэнергии, выработанной за счет ВИЭ, увеличился в 7 раз – с 33,2 млн кВт·ч до 216 млн кВт·ч [3].

Но бурный рост вырабатываемой электроэнергии с ВИЭ привел к дополнительной нагрузке на государственный бюджет. В настоящий момент себестоимость 1 кВт·ч производимой электроэнергии составляет ориентировочно 9,8 коп., при этом ГПО «Белэнерго» осуществляет закупку электроэнергии от ВИЭ, использующих энергию солнца, за 53 коп., энергию ветра и воды – за 28 коп., энергии биомассы и биогаза – за 30 коп. Таким образом, затраты Белэнерго на приобретаемую электроэнергию в 2015 г. выросли до 31,1 млн долл. США.

В целях совершенствования единой государственной политики в сфере использования ВИЭ был принят Указ Президента Республики Беларусь от 18 мая 2015 г. № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии». Указ предусматривает дифференциацию повышающих коэффициентов не только в зависимости от вида ВИЭ, но и от типа установки с учетом ее мощности, срока службы и т. п. Также предусматривается введение квот на строительство новых установок для определения наиболее экономически эффективных. На период до 2020 г. квоты на создание новых установок составят: с использованием энергии солнца – 5 МВт, биогаза – 2,7 МВт, энергии ветра –

2,5 МВт. Указ предусматривает возможность строительства энергоустановок и не в рамках квот, однако размер тарифа для сбыта выработанной электроэнергии для них в этом случае будет ниже [3].

В целом для Республики Беларусь, по оценкам Департамента по энергоэффективности, к 2020 г. суммарная мощность установок, использующих ВИЭ, достигнет порядка 1000 МВт, что составит примерно 6% от валового потребления топливно-энергетических ресурсов Республики Беларусь. Как свидетельствует опыт передовых стран Западной Европы, также ограниченных в собственных энергоресурсах, этот показатель может достигать 25–30% [4].

Однако даже такое количество электроэнергии, полученной с ВИЭ в Беларуси, сопоставимо с мощностью одного блока строящейся Белорусской атомной электростанции (АЭС), суммарная мощность каждого блока которой составит по 1200 МВт. Вместе с тем при разработке технико-экономического обоснования предполагается, что себестоимость 1 кВт·ч составит порядка 4,5 цента США. На сегодняшний день это будет самой низкой стоимостью электроэнергии, вырабатываемой в Республике Беларусь.

В то же время введение АЭС не позволит полностью отказаться от импортируемого российского газа, который является основным энергоисточником для получения тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь (рис. 3).

Как видно из рис. 3, практически все высокотемпературные промышленные процессы в вышеуказанных производствах реализуются при сжигании газообразных углеводородов.

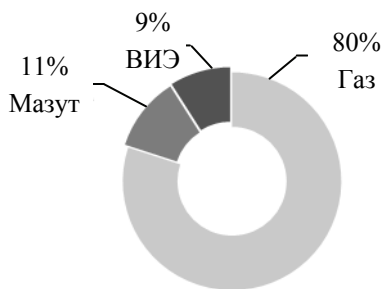


Рис. 3. Структура потребления сырья для производства тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь (2014 г.) [5]

Пуск АЭС позволит обеспечить государство на 25–30% энергией. Это даст возможность сократить поставки российского газа ориентировочно на 5 млрд м³. В результате согласно актуальным ценам импорт природного газа уменьшится на 600 млн долл. США. Поэтому даже с учетом рыночных цен на импортируемые российские топливные ресурсы и перспективы внедрения Белорусской АЭС вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются крайне актуальными для экономики нашего государства.

Энергоэффективность любого предприятия в первую очередь будет определяться эффективностью использования всех тепловых потоков и энергии, полученных от сжигания топлива. Поэтому внедрение современных технологий глубокой рекуперации тепловой энергии и сокращение низкопотенциальных тепловых отходов напрямую определяют энергоэффективность производства.

На сегодняшний день в промышленном производстве и коммунальном хозяйстве существует огромное количество бросового низкопотенциального тепла, которое ввиду невысоких

температур без применения специальных дополнительных технологий рекуперации не может быть вновь вовлечено в повторное применение. Наиболее распространенным решением рекуперации низкопотенциального тепла является тепловая насос.

В общем случае тепловой насос требует затраты работы (W) для получения тепла (Q_H) при низкой температуре и отдачи тепла (Q_L) при более высокой температуре (рис. 4). Отношение Q_H / W называется коэффициентом преобразования теплоты (K_T). Если считать, что тепло изотермически подводится при температуре T_L и изотермически отводится при температуре T_H , сжатие и расширение производятся при постоянной энтропии (рис. 4), а энергия работы подводится от внешнего двигателя, то коэффициент преобразования для термокомпрессионного теплового насоса, основанного на цикле Карно, будет иметь вид

$$K_T = \frac{T_L}{T_H - T_L} + 1 = \frac{T_H}{T_H - T_L}. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что КПД такой тепловой машины всегда меньше единицы и определяется температурами нагревателя и холодильника [6].

Тепловые насосы различных типов в промышленных и экономически развитых странах используются достаточно широко и доказали свою энергетическую и экологическую эффективность. Это единственные устройства, которые осуществляют процесс переноса теплоты с низкотемпературного уровня на более высокий температурный уровень потребителя, вовлекая в полезный оборот неиспользуемую природную и техногенную теплоту.

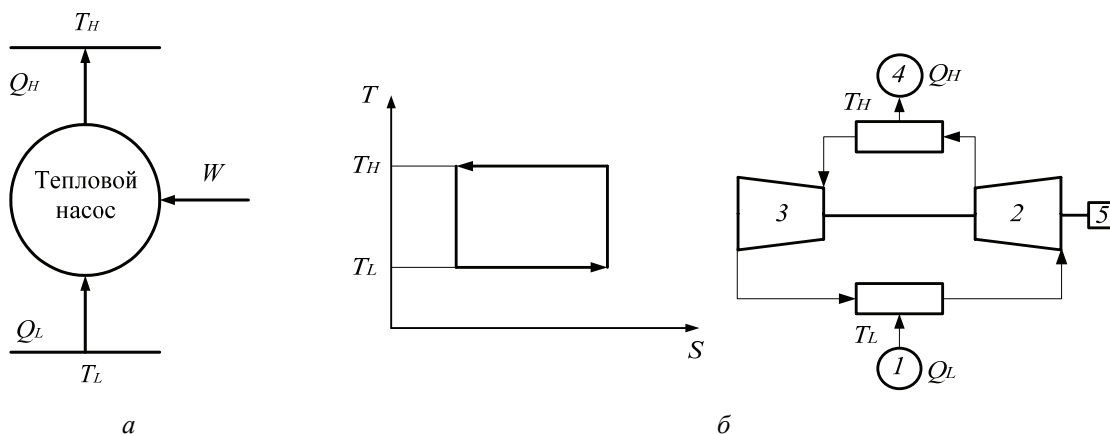


Рис. 4. Термодинамическая схема (а) и цикл Карно (б) теплового насоса:
 1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – детандер; 4 – конденсатор; 5 – привод компрессора;
 Q_H – высокопотенциальное тепло; Q_L – низкопотенциальное тепло; T_L – низкопотенциальная температура источника; T_H – высокопотенциальная температура источника;
 W – работа; S – энтропия; T – температура

Наиболее широкое применение тепловые насосы нашли в домашнем теплоснабжении и кондиционировании воздуха. Сейчас объем продаж тепловых насосов в мире составляет около 125 млрд долл. США, а в эксплуатации находится более 130 млн установок. По прогнозам Мирового энергетического комитета, к 2020 г. доля тепловых насосов в теплоснабжении в мире составит 75%. Понимая очевидность экономии ресурсов, правительства развитых стран поощряют внедрение тепловых насосов предоставлением различных льгот и субсидий.

Сегодня такого рода оборудование в Беларуси уже не ново. Помимо растущего применения в индивидуальном строительстве жилых домов в качестве альтернативы традиционным котлам отопления все большую популярность тепловые насосы находят в промышленности. На 1 декабря 2015 г. в Республике Беларусь действуют 118 теплонасосных станций суммарной тепловой мощностью 10 МВт. Наиболее известные из них – геотермальная теплонасосная станция тепличного комплекса «Берестье» Брестского района мощностью 1 МВт и комплекс из 37 тепловых насосов Минского метрополитена общей тепловой мощностью 700 кВт, спроектированных для отопления 19 станций метрополитена из 29 [7].

В публикации [8] описана принципиальная схема паровоздушного теплового насоса, разработанного на кафедре химической техники УО ПГУ. Приведены обоснования и доводы о потенциале применения нового типа промышленного паровоздушного теплового насоса в нефтехимическом производстве и коммунальном хозяйстве для рекуперации низкопотенциального тепла в промышленных масштабах.

Так, например, нефтеперерабатывающее предприятие, использующее водооборотную систему для охлаждения насосно-компрессорного оборудования и технологических потоков с температурами менее 80°C, производит охлаждение оборотной воды с помощью систем открытых градирен. В общей сложности в системе водооборота предприятия циркулирует порядка 30 000 м³/сут оборотной воды, где происходит ее охлаждение с 37–40 до 22–25°C (зависит от температуры окружающей среды). При этом в атмосферу в виде низкопотенциального тепла безвозвратно сбрасывается порядка 26 000 кДж/с, т. е. мощность постоянного низкопотенциального потока на примере одного промышленного предприятия может составлять до 26 МВт.

Если рассматривать в целом общую отраслевую структуру промышленного комплекса (рис. 5), то видно, что наибольший вклад в производство промышленной продукции вносят:

– машиностроительный и металлообрабатывающий комплекс (19,3%), в состав которого входят 135 предприятий станкостроения, автомобилестроения, сельскохозяйственного машиностроения, дорожно-строительного и коммунального машиностроения, машиностроения для пищевой и легкой промышленности, инструментального производства и металлургии;

– химическая и нефтехимическая промышленность (12%), представленная предприятиями концерна «Белнефтехим», включающего более 60 организаций, в том числе более 20 предприятий по добыче, переработке и транспортировке нефти, нефтепродуктообеспечения, химической и нефтехимической промышленности.

Как известно, все энергоемкие производства промышленности обладают некоторыми потоками низкопотенциальной энергии, которая не рекуперируется. Конечно, не на всех вышеперечисленных предприятиях эти потоки достигают объемов, сопоставимых с приведенным примером нефтеперерабатывающего предприятия. Однако если оценить эти потоки в среднем по 7,5 МВт на каждое предприятие, то суммарное оценочное количество низкопотенциальной энергии от наиболее крупных предприятий Республики Беларусь (135 – машиностроительный и металлообрабатывающий комплекс; 20 – нефтехимический комплекс) составит ориентировочно 1200 МВт, что сопоставимо с мощностью одного энергоблока строящейся Белорусской АЭС.

Приведенные доводы свидетельствуют об огромном энергетическом потенциале по использованию технологий рекуперации низкопотенциального тепла в промышленных масштабах.

Предлагаемая модель промышленного теплового насоса [8] как раз и направлена на решение данной задачи, поскольку отличается от известных насосов наличием в термокомпрессионном цикле такого рабочего тела, как смесь паров воды и воздуха. В нем устранен основной сдерживающий фактор внедрения в производство – взрывопожароопасные, токсичные, экологически небезопасные рабочие тела (фреоны, аммиак, смеси углеводородов). Применение в термокомпрессионном цикле дополнительного струйного аппарата и вакуум-компрессора позволяет с приемлемыми энергетическими затратами осуществлять процесс испарения и конденсации паров воды, являющихся рабочим телом теплового насоса.

Предлагаемый тепловой насос сконструирован на базе серийного ротационно-пластинчатого вакуум-компрессора. При оптимальном режиме работы коэффициент преобразования разработанного теплового насоса равняется 3,5. Мощность вырабатываемой высокопотенциальной

тепловой энергии может достигать 23 кВт. Мощность электропривода компрессора и центробежного циркуляционного насоса составляют 4 и 2,2 кВт соответственно.

Для успешного широкого внедрения предлагаемого теплового насоса как в ЖКХ, так и на промышленных предприятиях он должен отличаться не только высокой эффективностью, но и приемлемыми сроками окупаемости. Для этого оценим затраты на его эксплуатацию и полученный экономический эффект от внедрения на примере установки каталитического риформинга нефтеперерабатывающего предприятия. Тепловой насос предлагается использовать в системе водооборотного охлаждения насосно-компрессорного оборудования для рекуперации низкопотенциального тепла оборотной воды. При этом тепловой насос сможет вырабатывать высокопотенциальную тепловую энергию (120–150°C), которую можно использовать для технологических нужд.

При мощности теплового насоса 23 кВт он сможет выработать ориентировочно 165,05 Гкал тепловой энергии за год общей стоимостью 14 378,01 руб.

Стоимость вводимого оборудования теплового насоса ($O\Phi_{\text{вв}}$) рассчитывается по формуле (2):

$$O\Phi_{\text{вв}} = O\Phi_{\text{см}} + P_{\text{пп}}, \quad (2)$$

где $O\Phi_{\text{см}} = 10\,640,61$ – сметная стоимость вводимого оборудования, руб.; $P_{\text{пп}}$ – предпроизводственные расходы (пуско-наладочные работы, отладка, испытания и др.), руб., принимаются в размере 15% от сметной стоимости всех видов вводимого оборудования (формула (3)):

$$P_{\text{пп}} = \frac{O\Phi_{\text{см}} \cdot 15}{100} = \frac{10\,640,61 \cdot 15}{100} = 1596,09 \text{ руб.} \quad (3)$$

Таким образом, согласно выражению (2) стоимость вводимого оборудования теплового насоса ($O\Phi_{\text{вв}}$) будет равняться

$$O\Phi_{\text{вв}} = O\Phi_{\text{см}} + P_{\text{пп}} = 10\,640,61 + 1596,09 = 12\,236,71 \text{ руб.} \quad (4)$$

Сумму амортизационных отчислений A рассчитаем по формуле (5):

$$A = \frac{O\Phi_{\text{вв}} \cdot H_a}{100} = \frac{12\,236,71 \cdot 9,01}{100} = 1102,53 \text{ руб.}, \quad (5)$$

где $H_a = 9,01\%$ – норма амортизации по группе машин и оборудования.

Единичный тепловой насос, оборудованный вакуум-компрессором и центробежным циркуляционным насосом, будет потреблять 6,2 кВт/ч электроэнергии по стоимости 0,1907 руб. за 1 кВт/ч. За 12 месяцев работы тепловой насос потребит 51 782,4 кВт/ч ($12,4 \cdot 24 \cdot 29 \cdot 12 = 51\,782,4$) электроэнергии на сумму 9922,06 руб.

Таким образом, прибыль Π от внедрения теплового насоса составит

$$\Pi = D - (3 + A) = 14\,378,01 - (9922,06 + 1102,53) = 3353,42 \text{ руб.}, \quad (6)$$

где D – доход за год эксплуатации, руб.; 3 – затраты на электроэнергию, руб.; A – амортизационные отчисления, руб.

Срок окупаемости O внедряемого проекта определим по формуле (7):

$$O = \frac{O\Phi_{\text{вв}}}{\Pi} = \frac{12\,236,71}{3353,42} = 3,65 \text{ года.} \quad (7)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу.

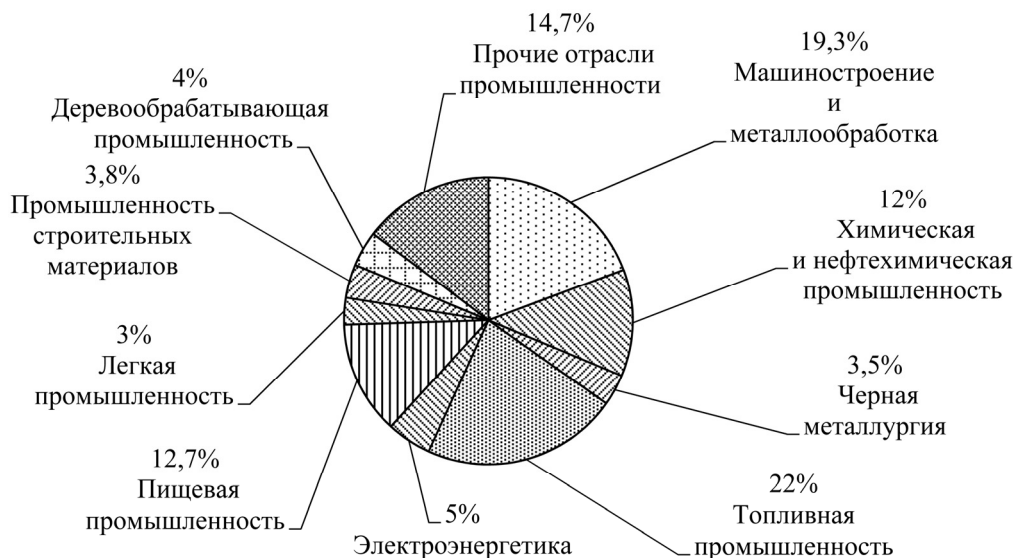


Рис. 5. Отраслевая структура промышленного комплекса Республики Беларусь (за 2015 г.) [5]

Технико-экономические показатели работы теплового насоса (на 10.09.2017)

Наименование показателя	Применение насоса на ОАО «НАФТАН»
Мощность теплового насоса, кВт	23,0
Количество тепловых насосов, шт.	1,0
Продолжительность сезона, месяц	12,0
Количество полученной высокопотенциальной энергии за сезон:	
– ГДж	691,56
– Гкал	165,05
Стоимость 1 Гкал, руб.	87,1148
Доход за сезон, руб.	14 378,01
Стоимость вводимого оборудования, руб.	12 236,71
Сумма амортизационных отчислений, руб.	1 102,53
Потребление энергозатрат:	
– мощность электродвигателей ТН, кВт/ч	6,2
– стоимость 1 кВт/ч, руб.	0,2010
– расход электроэнергии за сезон, кВт/ч	51 782,4
– затраты на электроэнергию, руб.	9 922,06
Прибыль от внедрения насоса, руб.	3 353,42
Окупаемость (Капитальные вложения / Прибыль), лет	3,65

Заключение. Уровень современной энергоэффективности ВВП Республики Беларусь свидетельствует об острой необходимости и целесообразности внедрения энергосберегающих технологий. Оценочно установлено, что суммарное количество низкопотенциальной энергии от наиболее крупных предприятий Республики Беларусь (135 машиностроительного и металлообрабатывающего комплекса; 20 нефтехимического комплекса) составляет ориентировочно 1200 МВт.

На примере нефтеперерабатывающего предприятия рассмотрен вариант внедрения техно-

логий рекуперации низкопотенциального тепла с помощью теплового насоса, отличающегося безопасным и доступным рабочим телом – смесью паров воды и воздуха, что делает возможным применение паровоздушного теплового насоса на промышленных производствах и системе ЖКХ. А оценка технико-экономических показателей его внедрения на технологической установке ОАО «НАФТАН» для рекуперации низкопотенциального тепла оборотной воды показала, что окупаемость вложений составляет ~3,7 года.

Литература

1. Станюта Д. Об итогах работы по энергосбережению за год // Энергоэффективность. 2017. № 2. С. 2–4.
2. Романькова Т. В. Снижение энергоемкости машиностроения Республики Беларусь: организационно-экономические аспекты: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Белорус. гос. экон. ун-т. Минск, 2012. 25 с.
3. Министерство энергетики Республики Беларусь [сайт]. URL: <http://minenergo.gov.by/> (дата обращения: 03.09.2017).
4. Энергоэффективность аграрного производства / В. Г. Гусаков [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Л. С. Герасимовича. Минск: Беларус. навука, 2011. 776 с.
5. Энергетика // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 1998. URL: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/> (дата обращения: 03.12.2017).
6. Юдаев Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М.: Высш. шк., 1988. 479 с.
7. Тур И. В. Использование вторичных источников энергии в Минском метрополитене // Энергоэффективность. 2017. № 2. С. 10–11.
8. Конева Н. С., Пискун И. М. Современные тенденции развития теплонасосной техники // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Прикладные науки. 2015. № 11. С. 133–139.

References

1. Stanyuta D. About summary of energy saving works during the year. *Energoeffektivnost'* [Power efficiency], 2017, no. 2, pp. 2–4 (In Russian).
2. Roman'kova T. V. *Snizheniye energoyemkosti mashinostroeniya Respubliki Belarus': organizatsionno-ekonomicheskiye aspekty. Avtoref. dis. kand. ekon. nauk* [Reduction of product energy intensity

mechanical engineering industry of the Republic of Belarus: organizational-economics aspects. Abstract of thesis cand. of econ. sci.]. Minsk, 2012. 25 p.

3. *Ministerstvo energetiki Respubliki Belarus'* [Ministry of Energy Republic of Belarus]. Available at: <http://minenergo.gov.by/> (accessed 03.09.2017).

4. Gusakov V. G., Gerasimovich L. S., Rusan V. I., Prishchepov M. A., Zayats E. M. *Energoeffektivnost' agrarnogo proizvodstva* [Power efficiency at agrarian production]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2011. 776 p.

5. Energetics. *Natsional'nyy komitet Respubliki Belarus'* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus]. Minsk, 1998. Available at: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/> (accessed 03.12.2017).

6. Yudaev B. N. *Tekhnicheskaya termodinamika. Teploperedacha* [Technical thermodynamics. Heat-transfer process]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 479 p.

7. Tur I. V. *Ispol'zovaniye vtorichnykh istochnikov energii v Minskom metropolitene* [Usage of secondary energy sources in Minsk metro]. *Energoeffektivnost'* [Power efficiency], 2017, no. 2, pp. 10–11 (In Russian).

8. Koneva N. S., Piskun I. M. Modern development trends in heat pump equipment. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], series B, Industry. Applied Sciences, 2015, no. 11, pp. 133–139 (In Russian).

Информация об авторе

Пискун Игорь Михайлович – инженер-механик. ОАО «НАФТАН» (211441, г. Новополоцк, Витебская обл., Республика Беларусь). E-mail: IPiskun@naftan.by

Information about the author

Piskun Igor Mikhailovich – mechanical engineer. JSC “NAFTAN” (211441, Novopolotsk, Vitebsk Region, Republic of Belarus). E-mail: IPiskun@naftan.by

Поступила 06.12.2017