
Kalinichenko E.

ACCOUNT OF THE INERTION DESCRIPTIONS AT CALCULATION OF PARAMETERS OF TURN OF SHIP

Procedure of calculation of parameters of turn of ship is got by the method of simple iterations with the use of descriptions of dynamic model of agility of ship.

The model supervisions of agility of the vessels "Oxford" and "Sheila Ann" are produced. The model supervisions showed good coincidence of experimental and calculation parameters of turn.

Keywords: *safety of navigator, agility of ship, parameters are turns, model supervisions.*

УДК 621.54:629.12.03

Просянок В.В.

ПРИМЕНЕНИЕ СЖАТОГО НАСЫЩЕННОГО ВОЗДУХА В СУДОВОМ ТУРБОАГРЕГАТЕ

В работе приведена оценка возможности применения сжатого насыщенного воздуха в качестве рабочего тела судового турбоагрегата. Показан термодинамический процесс, разработана схема судовой энергетической установки с воздушной турбиной. Предложена методика определения расхода насыщенного воздуха и КПД установки. Определены пути возможного применения судовой воздушной турбинной установки.

Ключевые слова: *парниковые газы, насыщенный воздух, воздушная турбина.*

Постановка проблемы. Международное судоходство является причиной около 3 % мировых объёмов выбросов парниковых газов, и, по данным ИМО, эта доля может увеличиться до 18 % к 2050 году. Евросоюз ради предотвращения климатических изменений намерен предложить мировому сообществу сократить к 2020 году на 10 % (к уровню 2005 года) выброс углекислого газа самолётами авиакомпаний и на 20 % - морским транспортом [1].

С целью решения проблемы уменьшения выбросов парниковых газов в судоходстве предпринимаются различные технические решения. Наиболее перспективным считается постройка судов, использующая в качестве топлива гидрат природного газа. Он считается более экологически безопасной формой энергии для морской перевозки по сравнению с бункерным горючим и даже сжиженным природным газом.

Как и другие технологии, не использующие сжигание топлива, использование транспортных средств на сжатом воздухе позволяет уменьшить выбросы через выхлопные трубы или переместить их на централизованные электростанции, или вообще на ветроэлектростанции [2], что значительно уменьшает и облегчает процесс утилизации этих выбросов.

Первым морским транспортом на сжатом воздухе была военная субмарина [3]. В апреле 1863 года была спущена на воду французская подводная лодка «Plongeur». Это была самая большая подводная лодка XIX века, первая в мире субмарина, которая имела механический привод гребного винта, мощность 80 л.с. (60 кВт) и автономность плавания 9 км.

Актуальность исследования. Несмотря на то, что первые попытки оснастить морской транспорт двигателем, работающим на сжатом воздухе, предпринимались ещё в начале позапрошлого века, дальше нескольких прототипов дело до сих пор не заходило. Задача уменьшения выбросов углекислого газа в судоходстве применением энергии сжатого

воздуха актуальна, в связи с этим нами было предложено продолжить исследование по данному направлению.

Цель работы – оценка возможности применения энергии сжатого насыщенного воздуха в качестве рабочего тела судовых турбоагрегатов.

Изложение материала исследования. Системы пневматического аккумулирования для водных транспортных средств ограничиваются применением короткого времени транспортировки и очень высокой мощностью разряда. Для повышения удельной мощности воздушной турбинной установки (ВТУ) и предотвращения выпадения влаги необходимо подогревать воздух перед воздушной турбиной (ВТ). Осуществить это можно несколькими способами:

- подогрев за счёт утилизации теплоты, например выхлопными газами дизеля;
- подогрев за счёт теплоты окружающего воздуха или забортной воды;
- подогрев на береговой заправочной станции с последующим хранением в теплоизолированных баках.

Работа ВТУ на холодном запасе неработоспособна, так как в процессе расширения температура воздуха приобретает отрицательное значение, соответственно произойдёт обмерзание корпуса турбины. Применение «горячего» запаса и подогрева после редуцирования позволяет повысить температуру воздуха перед турбиной в пределах необходимых для обеспечения в конце процесса расширения температуры близкой к окружающей среде и обеспечить минимальные потери. На рисунке 1 представлен термодинамический цикл ВТУ с «горячим» запасом и подогревом выхлопными газами ДВС.

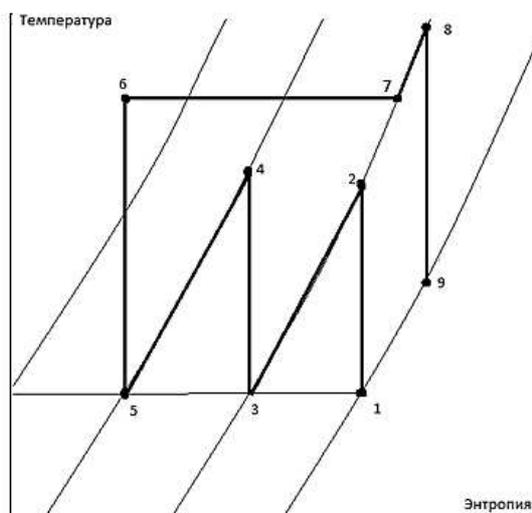


Рис.1. Цикл в T - S диаграмме ВТУ

Процесс 1–2, 3–4, 5–6 - сжатие воздуха в ступенях компрессора, 2–3, 4–5 -промежуточное охлаждение, 6–7 - дросселирование, 7–8 - подогрев, 8–9 - расширение в ВТУ.

На рисунке 2 представлена разработанная нами схема судовой энергетической установки (СЭУ) с ВТУ.

СЭУ с ВТУ работает следующим образом. С береговой компрессорной станции закачивается горячий сжатый воздух в баллон основного запаса (БОЗ). Для уменьшения потерь тепла БОЗ теплоизолирован. Далее воздух поступает через редуктор давления (РД) где уменьшается давление до необходимого значения перед поступлением в расходный баллон (РБ). В РБ происходит насыщение сжатого воздуха распылённой водой до необходимых значений влагосодержания, которое регулируется расходным устройством (РУ). В расходном баллоне происходит подогрев воздуха выпускными газами от работающего дизель генератора (Д). С помощью манёврового устройства (МУ) в зависимости от режима устанавливается необходимый расход насыщенного сжатого воздуха

на воздушную турбину (ВТ). При расширении рабочего тела происходит конденсация паров и появление воды в жидком состоянии. С помощью влагоотделителя (ВО) конденсат направляется в танк воды (ТВ), в котором имеется необходимый запас воды и откуда насосом (Н) через РУ разбрызгивается водяным туманом в РБ. Турбина, вращаясь с необходимой скоростью заданной МУ, приводит через редуктор (Р) во вращение гребной винт (ГВ) для движения судна и валогенератор (ВГ) для производства электроэнергии, которую можно использовать, в том числе и для увеличения подогрева воздуха в (РБ). В случае, когда воздух в БОЗ потерял необходимые рабочие параметры, предусмотрен аварийный контур. С помощью высокопроизводительного компрессора (К) работающего от электроэнергии вырабатываемой дизель-генератором (Д), можно поддерживать минимальный уровень расхода подогретого воздуха, для перемещения судна до заправочной станции. Для этого случая предусмотрена запасная цистерна топлива (ЗЦТ).

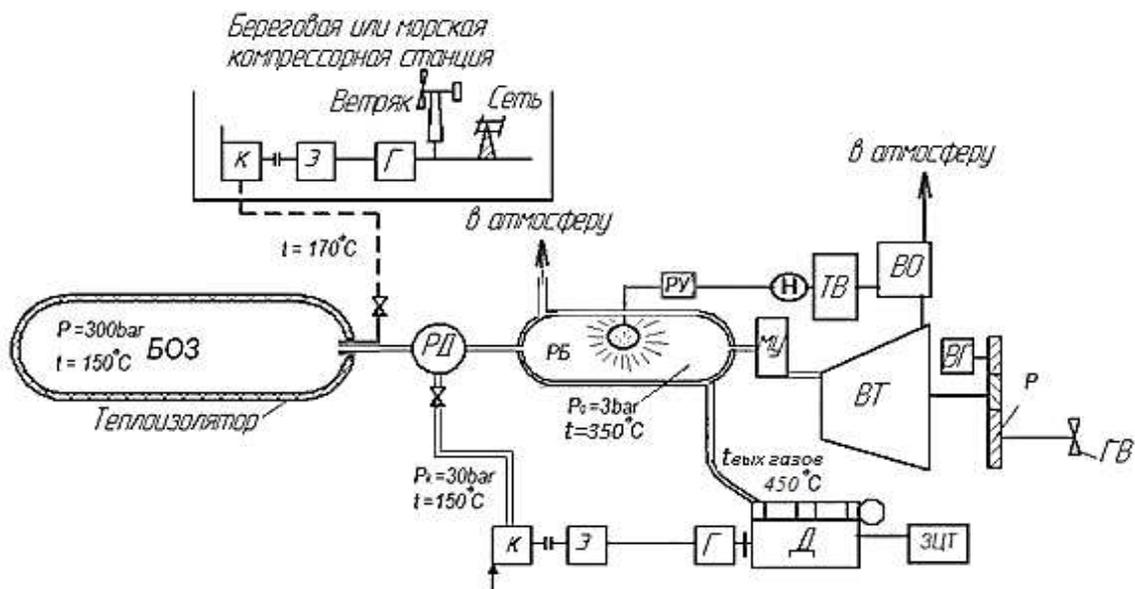


Рис. 2. СЭУ с ВТУ

Для оценки возможности применения сжатого насыщенного воздуха в качестве рабочего тела необходимо определить удельный расход воздуха и объем БОЗ для обеспечения запланированной автономности плавания.

Для определения расхода воздуха принимаем для расчёта зависимость, используемую в паротурбинных установках [4].

Мощность ВТУ равна произведению энергии килограмма сжатого насыщенного воздуха умноженной на секундный расход и КПД агрегата

$$N_{etb} = G_g \cdot H_g \cdot \eta_{et}, \text{кВт} \quad (1)$$

Откуда секундный расход воздуха равен

$$G_g = \frac{N_{etb}}{H_g \cdot \eta_{et}}, \text{кг / с} \quad (2)$$

Энтальпию влажного насыщенного воздуха можно определить по известной методике [5]

$$J = 1,006 \cdot t + (2500,64 + 1,86 \cdot t) \frac{d}{1000}, \text{кДж / кг} \quad (3)$$

где t - температура воздуха, °C;

d - влагосодержание влажного насыщенного воздуха г/кг.

Если влагосодержание нагретого воздуха в РБ обеспечить в пределах 1000÷1200 г/кг при температуре $t = 350$ °C и давлении $P_0 = 3 \text{ bar}$ работа расширения влажного насыщенного воздуха H_e может быть в пределах 450÷850 кДж/кг, что достаточно для работы турбины.

Объём воздуха затраченного на автономное плавание можно определить по формуле:

$$V = \frac{b_e \cdot L}{c}, \text{м}^3, \quad (4)$$

где L – автономностью, миль; c - скорость судна в миль/с; b_e – секундный расход воздуха:

$$b_e = \frac{N_{et6}}{H_{y\delta} \cdot \eta_{et}}, \text{м}^3 / \text{с} \quad (5)$$

где $H_{y\delta}$ – удельная работа, кДж/м³.

Удельная работа локомотива работающего на сжатом воздухе [6] составляла 10000 кДж/м³ при верхнем давлении 120 bar и нижнем 23 bar.

По обобщённому закону Бойля-Мариотта и Гей-Люссака ориентировочный объём БОЗ (без учёта сжатия и нагрева, потерь при дросселировании, расширении и т.д.) можно определить

$$V_0 = \frac{P \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \text{м}^3, \quad (6)$$

где P – давление на выходе из турбины, bar ; P_0 – давление в БОЗ, bar ; T_0 – температура воздуха в БОЗ, К ; T – температура воздуха за турбиной, К ; V – объём воздуха затраченного на автономное плавание, м³.

На рисунке 3 представлена зависимость объёма БОЗ от мощности ВТУ для автономности плавания 100 миль при параметрах воздуха указанных на схеме СЭУ с ВТУ. В качестве источника данных взяты мощности ряда двигателей фирмы MAN [7].

Анализ данных графика позволяет сделать вывод, что применение СЭУ с ВТУ мощностью более 3000 кВт с автономностью плавания 100 миль ограничено технологическими возможностями изготовления больших габаритных размеров баллонов высокого давления и соответственно уменьшения полезной площади судна.

Общий КПД СЭУ с ВТУ можно оценить как отношение работы расширения к работе сжатия

$$\eta_{ВТУ} = \frac{L_{рас}}{L_{сж}} = \frac{m_{рас} \cdot R \cdot T_{1p} \left[1 - \pi_{рас}^{-m_{рас}} \right]}{m_{сж} \cdot R \cdot T_{1c} \left[\pi_{сж}^{m_{сж}} - 1 \right]}, \quad (7)$$

где $L_{рас}$, $L_{сж}$ - работа сжатия и расширения; $\pi_{сж}$ - степень повышения давления при сжатии в компрессоре; $\pi_{рас}$ - степень понижения давления в турбине; T_{1c} - температура воздуха в начале процесса сжатия; T_{1p} - температура воздуха в начале процесса расширения; R - газовая постоянная воздуха;

$$m_{сж} = \frac{n_c - 1}{n_c} ;$$

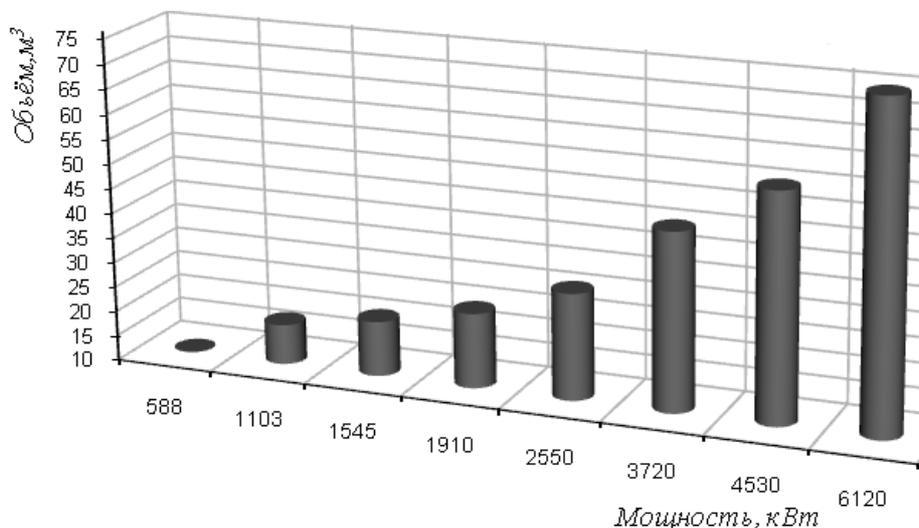


Рис. 3. Зависимость объёма баллонов основного запаса от мощности турбины

n_c - показатель политропы при сжатии;

$$m_{рас} = \frac{n_p - 1}{n_p} ;$$

n_p - показатель политропы при расширении.

На рисунке 4 показаны зависимость КПД (η) от температуры (T) и степени расширения воздуха ($\pi_{рас}$) в турбине.

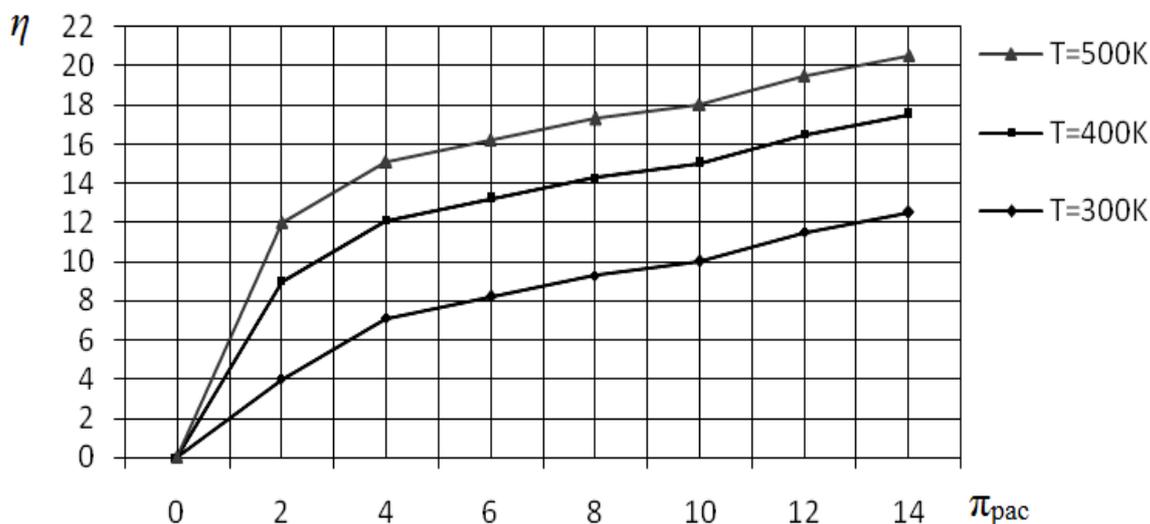


Рис. 4. График КПД СЭУ с ВТУ

Анализ рисунка 4 показывает, что для повышения КПД СЭУ с ВТУ необходимо повышать температуру воздуха перед турбиной и увеличивать степень расширения.

Основными результатами исследования являются:

1. При определённых условиях СЭУ с ВТУ может быть конкурентной двигательной установкой малых судов (дедвейт не более 5000 т.) с невысокой автономностью плавания

(менее 150 миль), позволяющая на 70÷80 % снизить выбросы CO₂ по сравнению с традиционными двигателями.

2. Низкая эффективность СЭУ с ВТУ связана с большими затратами энергии при сжатии, охлаждении, нагреве рабочего тела.
3. Повышение КПД СЭУ с ВТУ до 30 % может быть достигнуто путём использования с аккумулированной в процессе сжатия теплоты промежуточного охлаждения для нагрева рабочего тела.

Выводы. Диапазон применения СЭУ с ВТУ ограничен малой автономностью плавания и небольшими мощностями двигательной установки. Тем не менее, это суда которые могут работать портовых акваториях, на реках, каналах, где существуют повышенные требования к выбросам. Это, например, паромные суда, пассажирские катера, речные трамваи, суда экологического направления, служебные суда, буксиры, плавучие краны. Следует заметить, что в предложенной энергетической установке затраты энергии на сжатие вынесены за пределы судна. На стационарной компрессорной станции есть возможность использовать альтернативные источники энергии, тепловое аккумулирование и другие способы уменьшения потерь. На наш взгляд, в перспективе КПД СЭУ с ВТУ может достигнуть приемлемых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. DPD запускает программу по сокращению выбросов углекислого газа. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.trans-port.com.ua/index.php?newsid=37082>. – Загл. с экрана.
2. Мокін Б.І. Екологічні та економічні аспекти створення повітряних акумулюючих електростанцій / Б.І.Мокін//Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2006. –№5. – С.95-103.
3. «Plongeur» – французская подводная лодка // Википедия. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Plongeur>. – Загл. с экрана.
4. Слободянюк Л.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация: Учебник / Л.И.Слободянюк, В.И. Поляков. – Л.: Судостроение, 1983. – 360с.
5. Бурцев С.И. Влажный воздух. Состав и свойства: Учебное пособие/С.И. Бурцев, Ю.Н. Цветков. – СПб.: ГАХПТ, 1998. – 146с.
6. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии/Г. Бекман, П.В Гилли. – М.:Мир,1987. –277с.
7. Судовой механик: Справочник / Под.ред. А.А. Фока. – Одесса:Феникс, 2010. – Т.1. – С.393-1036

Присянок В.В.

ЗАСТОСУВАННЯ СТИСНЕНОГО НАСИЧЕНОГО ПОВІТРЯ В СУДНОВОМУ ТУРБОАГРЕГАТІ

У роботі наведена оцінка можливості застосування стисненого насиченого повітря як робочого тіла судового турбоагрегата. Показаний термодинамічний процес, розроблена схема судової енергетичної установки з повітряною турбіною. Запропонована методика визначення витрат насиченого повітря та ККД установки. Визначені шляхи можливого застосування судової повітряної турбінної установки.

Ключові слова: парникові гази, насичене повітря, повітряна турбіна.

Prosyank V.

USING COMPRESSED OF SATURATED AIR SHIPS TURBOSET

The article shows evaluation of the possibility of using compressed saturated air as the working body of the ship turboset. Shows a thermodynamic process scheme of ship power plant with an air turbine. Described method for determining the flow of saturated air and efficiency installation . Defined by the ways of the possible use of air turbine installation of ship.

Keywords: greenhouse gases, saturated air, air turbine.