

УДК 629.7

**ПАРОВАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА ТИПА «ТУРБОКОТЕЛ»  
ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ****Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.***ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

В 1906 году известный российский ученый Николай Егорович Жуковский разработал новую энергетическую установку – турбокотел. При этом паровой двигатель и котел оказались соединенными в один агрегат, но на более высоком техническом уровне. В результате был создан ряд работоспособных авиационных паровых энергетических установок. Появились компактные, мощные и очень интересные конструкции, содержащие, в частности, такие «странные» детали как «вал котла». Котел вращался вместе с турбиной (с подвижными или неподвижными горелками), а центробежная сила использовалась для циркуляции пламени топки котла. Такие турбины были успешно проверены на автомобилях.

**Ключевые слова:** турбокотел, сопло выхода пара, форсунка, центробежная подача воды**STEAM POWER PLANT TYPE «TURBOKOTEL»  
FOR SMALL AIRCRAFT****Voronkov Y.S., Voronkov O.J.***ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

In 1906, the famous Russian scientist Nikolai Zhukovsky developed a new power plant – turbokotel. In this case the steam engine and boiler were connected in one unit, but at a higher technical level. The result is a series of efficient aviation steam power plants. There are compact, powerful and very interesting constructs containing, in particular, such «strange» items as «shaft pot». The boiler is rotated together with the turbine (with moving or stationary burners), and the centrifugal force is used to circulate the flame combustion chamber. These turbines have been successfully tested on the cars.

**Keywords:** turbokotel nozzle exit steam nozzle, centrifugal water supply

По предложенной Н.Е. Жуковским схеме турбокотел представлял собой сосуд в форме эллипсоида, вертикальная ось которого совпадала с малой осью эллипса, являющейся осью его вращения, а также совпадала с валом, установленным с возможностью его вращения в подшипниках. Внутренняя полость эллипсоида была разделена перегородкой, перпендикулярной его оси вращения, одна часть которой заполнялась водой, а в другой вода нагревалась, закипала и превращалась в пар. Питание установки водой осуществлялось через частично полый вал. При нагреве воды она превращалась в пар, пар выбрасывался через сопла на турбину, отдавая ей часть энергии, заставлял турбину вращаться. Турбокотел таким образом преобразовывал энергию давления пара в механическую энергию. К валу турбокотла можно было подсоединять редуктор или напрямую отбирать механическую энергию с целью передачи её на воздушный винт. Горелки, питаемые жидким топливом или горючим газом, могли быть установлены непосредственно на турбокотле и вращаться вместе с ним. Могли также устанавливаться неподвижно отдельно от него. Турбина посредством подшипников была насажена на вал и являлась отдельным агрегатом.

**Опыт реализации идеи в авиации**

Практическое использование турбокотлов в авиации было реализовано в 1932 – 1934 гг.

Так, по сообщениям иностранной печати, в Германии на электрозаводе Клинггарберга разработан и построен специальный самолет, оснащенный паросиловой установкой. Автором силовой установки называли главного инженера завода Хютнера. Сконструированная силовая установка самолета имела мощность 2500 л.с., длина самолета 22 м, размах крыла 32 м, полетная масса (приблизительно) 14 000 кг, потолок самолета 14 000 м, скорость полета на высоте 10 000 м – 420 км/час, скороподъемность на высоту 10 км – 30 минут.

Инженер Прекуль приблизительно определил удельную массу всей паросиловой винтомоторной установки данного самолета – 1 кг/л.с. на высоте 10 000 м.

Из последующих информационных материалов стало известно, что сущность этого изобретения сводится к развитию идеи турбокотлов Н.Е. Жуковского и Форкауфа.

В данной силовой установке паробразователь и турбина вместе с конденсатором были объединены в один вращающийся агрегат, имеющий общий корпус.

Котел турбины Хютнера был образован трубками, которые вращались вокруг оси со скоростью 3 000 – 5 000 об/мин. Поступающая в трубки вода устремлялась под действием центробежной силы в левые ветви V-образных трубок, правое колено которых исполняло роль генератора пара. Левое колено трубок имело ребра, нагреваемые пламенем газа, подаваемого из форсунок. Вода, проходя мимо этих ребер, превращалась в пар, а центробежные силы, возникающие при вращении котла, способствовали повышению давления пара. Давление в этом случае регулировалось автоматически. Разность плотностей пара и воды в обеих ветвях трубок давало переменную разность их уровней. Эта разность зависела от величины центробежной силы, а следовательно, и скорости вращения всего агрегата.

Особенностью конструкции турбокотла Хютнера являлось расположение трубок, при котором во время вращения создавалось разрежение в камере сгорания, и таким образом сам котел работал как всасывающий вентилятор. Питание котла водой осуществлялось автоматически вследствие разрежения, возникающего при работе у входа в холодное колено трубки.

Хютнер, выступая на собрании инженеров в Берлине в 1934 году по поводу регулирования работы турбокотла, говорил: «Органы регулирования здесь не нужны. Нет даже герметических камер давления. Роль запорного приспособления выполняет вода, находящаяся под действием центробежной силы, и она предупреждает сверхдавление. Это обстоятельство и автоматическая подача питательной воды являются достижениями, обеспечивающими большую надежность работы».

Хютнеру удалось построить несколько моделей паровой турбины своей конструкции. Одна из первых его моделей имела диаметр 25 см и мощность 1/5 л.с. Как утверждали в печати, пуск в ход занимал всего 10 секунд. При массе воды 35 г получался часовой съём пара 25 кг, КПД котла был получен равным 80%.

Одними из преимуществ установок Хютнера являлась их незначительная масса и небольшие размеры. В установках такого типа отсутствуют всевозможные трубопроводы, они просты в обращении и легко регулируются.

#### **Возрождение интереса к идеям Н.Е. Жуковского**

Идея турбокотла Н.Е. Жуковского издавна привлекала внимание и авиамоделей-

стов-экспериментаторов города Таганрога. Она неоднократно рассматривалась одним из авторов этих строк в рамках программы «Рубикон» в 80-х годах прошлого столетия. Были разработаны несколько схем миниатюрного турбокотла для авиамоделей. В дальнейшем проекты разрабатывались этим же автором в Благотворительном обществе научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога как экологически чистые силовые установки. Один из возможных вариантов такого устройства для легких летательных аппаратов вертикального взлета и посадки рассматривается в данной работе в виде общего описания конструкции без приведения его геометрических, термодинамических и энергетических параметров.

#### **Состав предлагаемой установки**

В соответствии с разработанной конструкцией миниатюрного турбокотла для беспилотных малоразмерных летательных аппаратов установка поясняется чертежами рис. 1, рис. 2 и состоит из следующих узлов и деталей:

1. вращающийся турбокотел (генератор пара);
2. расходный бак с водой;
3. камера сгорания;
4. форсунки газовых горелок;
5. нижняя подшипниковая опора;
6. трубопроводы подачи топлива в камеру сгорания;
7. средняя подшипниковая опора;
8. форсунки подачи питающей воды в турбокотел;
9. продувочное окно камеры сгорания;
10. выпускные патрубки турбокотла;
11. выхлопной коллектор отработанного пара;
12. полая часть вала турбокотла;
13. предохранительно-дренажная крышка;
14. верхняя подшипниковая опора;
15. центробежный нагнетатель;
16. окно подачи воздуха в камеру сгорания;
17. трубопровод подачи воды из других баков;
18. верхняя стенка камеры сгорания;
19. приводная часть вала турбокотла;
20. реактивный насадок;
21. окна забора воды в турбокотел;
22. вал турбокотла.

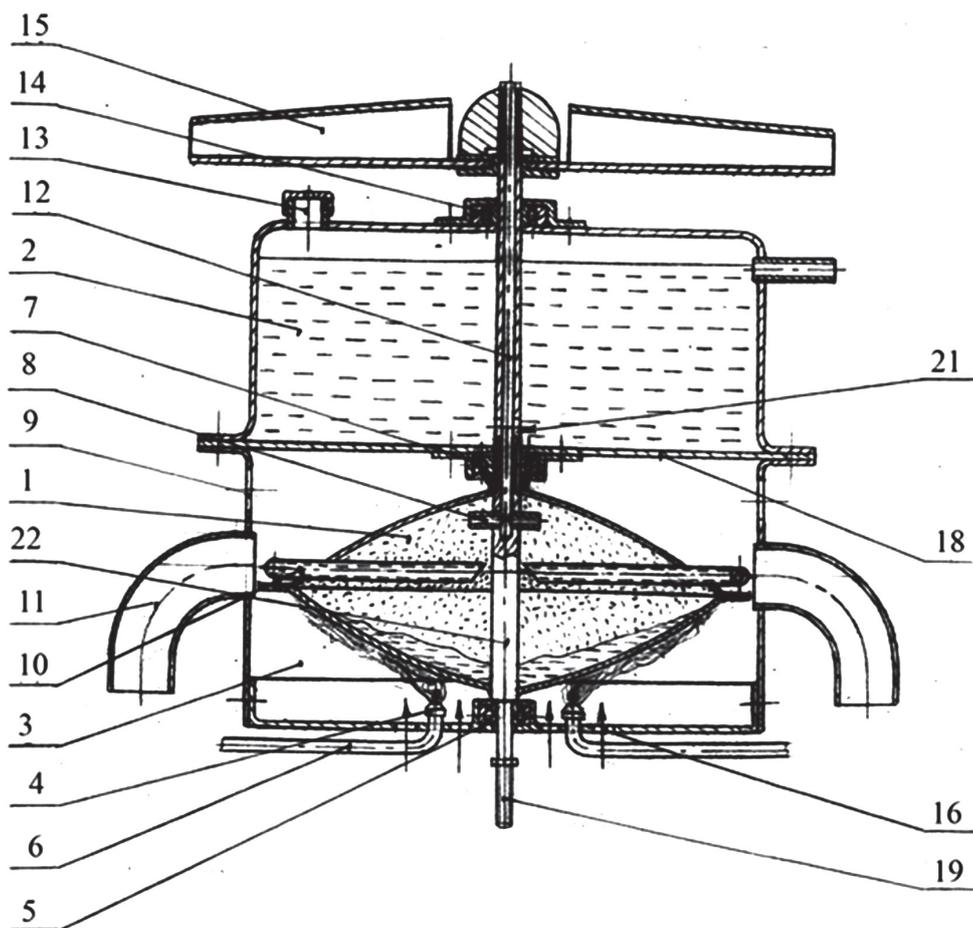


Рис. 1

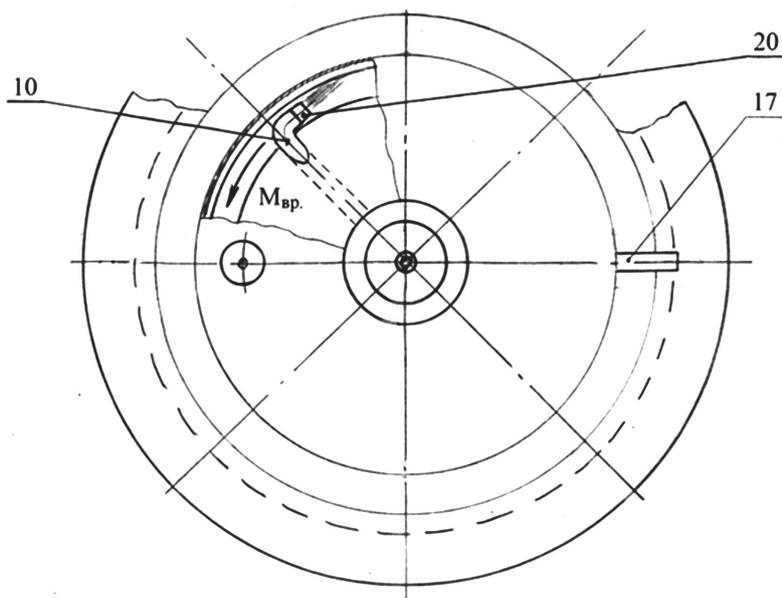


Рис. 2

### Работа установки

Перед пуском турбодвигатель 1 (генератор пара) частично заполняется водой из расходного бака 2. Производится розжиг газовых горелок 4 в камере сгорания 3, устанавливается минимальный режим подачи топлива в камеру сгорания 3. Вода в турбодвигателе 1 закипает, превращаясь в пар. Давление пара в турбодвигателе 1 возрастает, и пар, вырываясь из реактивных насадок 20, придает турбодвигателю 1 вращательное движение. Восполнение воды производится непрерывно через окна заборной воды 21 из расходного бака 2. Вода, засасываясь в окна 21, проходит по внутренней части 12 полого вала турбодвигателя 1 и через форсунки 8 под действием центробежных сил впрыскивается непосредственно в турбодвигатель 1. Форсунки 8 подачи питающей воды в турбодвигатель 1 могут быть снабжены предохранительными клапанами для предотвращения противотока воды и пара в расходный бак 2. В турбодвигателе 1 вода отбрасывается центробежной силой к периферии турбодвигателя 1, нагревается, превращаясь в пар. Пар скапливается в области, примыкающей к валу турбодвигателя 22, и по выпускным патрубкам турбодвигателя 10 устремляется в реактивные насадки 20, далее в выхлопной коллектор отработанного пара 11 и затем в атмосферу. Концевые части всех выпускных патрубков турбодвигателя 10 имеют в горизонтальной плоскости загнутую против часовой стрелки форму, а реактивные насадки 20 установлены по касательной к траектории, описываемой концами выпускных патрубков турбодвигателя 10. Пар на выходе из каждого реактивного насадка 20 создает реактивную силу на плече, равном радиусу установки насадков. Это позволяет говорить о суммарном крутящем моменте  $M_{кр.}$ , создаваемом паром при его выходе из всех реактивных насадков 20 одновременно.

В подобной миниатюрной силовой установке типа «Турбодвигатель» возможно преобразование кинетической и тепловой энергии пара в механическую путем подачи пара из вращающегося турбодвигателя 1 на вращающуюся в противоположном направлении турбину. С этой целью, приводная часть вала турбодвигателя 19 выполняется полый. По ней через раздаточный коллектор пар может подаваться через сопла направляющего аппарата на рабочие лопатки турбины, и после срабатывания удаляться в атмосферу.

Превышение некоторого значения давления пара в турбодвигателе есть функция высоты столба воды в расходном баке. Поэтому система саморегулируемая. Для поддержания заданного значения высоты столба воды применен расходный бак. Основные питающие баки с водой могут находиться на некотором расстоянии от расходного бака. Подача воды из них может обеспечиваться системой поддавливания, запитанной от скоростного напора пара при его выхлопе.

### Проект БМЛА ВВП с силовой установкой типа «Турбодвигатель»

Беспилотный малоразмерный летательный аппарат вертикального взлета и посадки с силовой установкой типа «Турбодвигатель» (рис. 3, рис. 4) включает:

1. силовую установку типа «Турбодвигатель»;
2. верхнюю поверхность Коанда;
3. центробежный нагнетатель;
4. отклоняемый поток воздуха;
5. гибкую юбку с кромкой;
6. нижняя поверхность;
7. поток отработанного нагретого пара;
8. остывающие порции пара;
9. облако нагретого пара;
10. целевое оборудование;
11. основные питающие баки с водой;
12. спрямляющий аппарат центробежного нагнетателя;
13. стойки опор шасси;
14. опорные диски шасси;
15. блоки управления, навигации и связи аппарата;
16. система питания газовых горелок.

Стрелками с поворотом показаны линии тока пара; прямыми стрелками показаны линии тока воздуха; жирными стрелками обозначены векторы подъемной силы.

### Описание и работа аппарата

БМЛА ВВП – беспилотный малоразмерный летательный аппарат вертикального взлета и посадки (рис. 3, рис. 4) выполнен в виде выпукло-вогнутого купола, по вертикальной оси которого внутри установлена силовая установка типа «Турбодвигатель» 1. Его верхняя поверхность 2 представляет собой поверхность Коанда, над которой закреплен с возможностью вращения центробежный нагнетатель 3. При обдуве верхней поверхности аппарата 2 нагнетатель 3 интенсивно гонит поток воздуха 4, который в соответствии с эффектом Коанда обтекает поверхность 2 эквидистантно её образующей и,

отклоняясь вдоль гибкой юбки с кромкой 5, почти вертикально уходит вниз, вызывая реакцию сил. В соответствии с законом

Бернулли и 3-м законом Ньютона, такое обтекание поверхности инициирует появление подъемной силы  $Y$ .

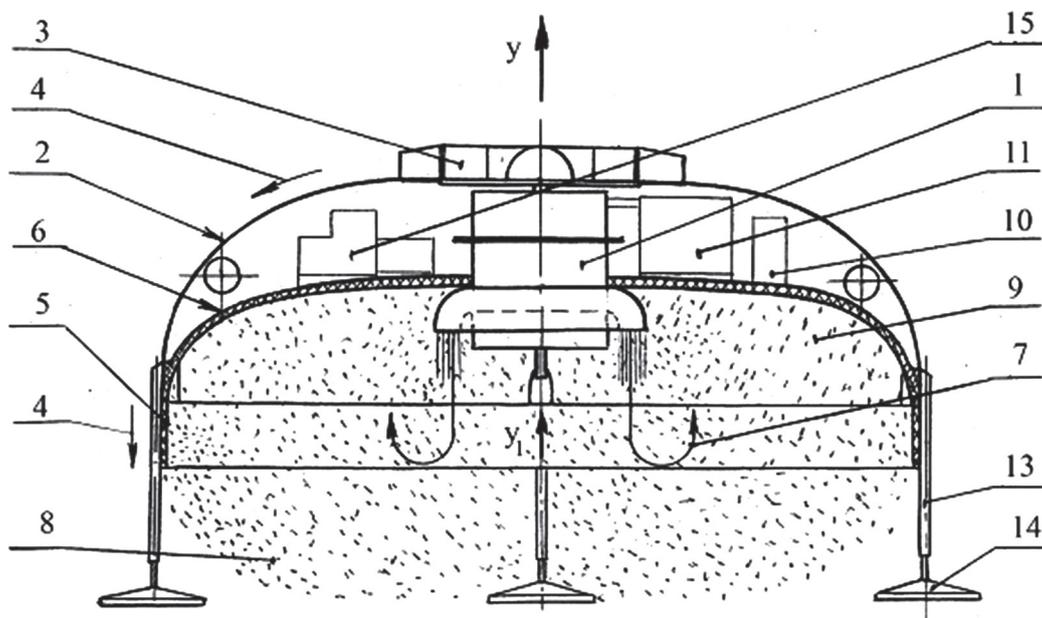


Рис. 3

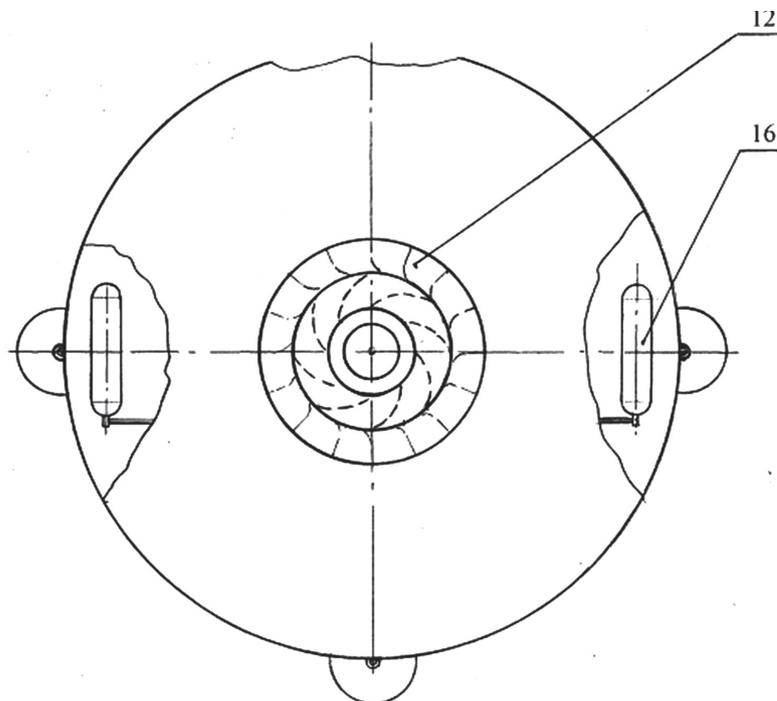


Рис. 4

Нижняя поверхность 6 аппарата выполнена вогнутой. Её периферийная часть оснащена специальной гибкой юбкой с кромкой 5, которая служит для управления аппаратом в пространстве. При этом управление аппаратом по осям  $X$  и  $Z$  осуществляется отгибом гибкой юбки с кромкой 5 специальными сервоприводами. При отгибе части гибкой юбки 5 в любую из сторон меняется распределение аэродинамических сил, что приводит к их неравенству и возникновению, соответственно, управляющих моментов по одной из осей  $X$  или  $Z$ .

Гибкая юбка с кромкой 5 одновременно ограждает от утечки часть отработанного в турбокотле 1 нагретого пара 7. Пар 7, стремящийся вверх, постоянно заменяется свежими порциями, удерживается в вогнутой части аппарата 6 гибкой юбкой с кромкой 5. Такой процесс приводит к созданию дополнительной подъемной силы  $Y_1$ . Принцип возникновения такой силы аналогичен принципу создания высокотемпературной аэростатической подъемной силы. В результате действия суммарной подъемной силы  $Y+Y_1$ , превышающей массу аппарата, последний набирает высоту.

Остывающие порции пара 8, окончательно охлаждаясь, выпадают в виде мелких капель воды на землю.

### Выводы

Миниатюрная силовая установка типа «Турбокотел» предназначена для легких беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки. Характерной чертой установки является турбокотел с вертикальной осью вращения. Такое положение оси турбокотла способствует се-

парации пара за счет сил гравитации, что позволяет избавиться от механических перегрузок внутри самого котла.

Турбокотел оснащен реактивными насадками, превращаясь таким образом, в реактивную паровую турбину, что позволяет сократить массу установки.

В отличие от традиционных паровых установок, в данной конструкции миниатюрного турбокотла работа питательного насоса заменена работой центробежной силы, и вся установка существенно упрощается, приобретая больше компактности.

Выбрасываемый в атмосферу отработанный пар в полете аппарата, кроме создания подъемной силы, на определенной высоте способен обеспечить маскировку аппарата.

Беспилотный малоразмерный летательный аппарат вертикального взлета и посадки, оснащенный силовой установкой типа «Турбокотел», является экологически чистым летательным аппаратом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. – М.: Изд-во МАИ, 1994.
2. Ханцев Ф. Основы общей методики конструирования (Систематизация конструирования). – Л.: Машиностроение, 1962.
3. Дузь П. Паровой двигатель в авиации. – Киев, 1939.
4. История развития отечественного котлостроения. Вклад Российских ученых и инженеров в развитие котельной техники. Статья в Internet.
5. Журналы: «Техническая информация» ЦАГИ; «Изобретатель и рационализатор»; «Техника-молодежи»; «Знание-сила»; «Science News» (США); «Изобретения стран мира» Кл. В64С.
6. Материалы Благотворительного общества научнотехнического творчества и экологии
7. [alternathistory.org.ua/aviationnaya-parovaya-turbina-khyutnera](http://alternathistory.org.ua/aviationnaya-parovaya-turbina-khyutnera).