

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ: АСПЕКТ ЭФФЕКТИВНОСТИ

С.В. Геллер

Первенство в создании гидродинамического нагревателя жидкости принадлежит А.П. Меркулову (60-е гг. XX в.). В настоящее время в России "вихревые" теплогенераторы выпускаются рядом фирм в Москве, Санкт-Петербурге, Ростове-на-Дону, а также на Украине в городах Донецке, Харькове, Киеве.

Использование "вихревых" теплогенераторов выгодно на электрифицированных объектах, прокладка газовых коммуникаций и теплоцентралей к которым невозможна или не экономична. В частности, такие аппараты пригодны в качестве мини-котельных для зданий и сооружений (рис. 1). С их помощью можно нагревать любые жидкости.

В статических "вихревых" теплогенераторах отсутствуют подвижные конструктивные элементы и имеется тормозное устройство с большим гидравлическим сопротивлением (Пат. 2293260 RU, Пат. 2190162 RU) [1].

Динамические "вихревые" теплогенераторы имеют размещённые в полости корпуса роторные либо лопаточные активаторы, жёстко скреплённые с приводными валами (Пат.

2307988 RU). Некоторые из аппаратов снабжены средствами создания автоколебаний в потоке жидкости. Однако в них совмещена зона кавитации с рабочим колесом насоса, что снижает ресурс и производительность последнего, а также эффективность всей нагревательной системы (Пат. 2247906 RU).

Большой момент инерции роторов, кинематически связанных с валом приводного электродвигателя, — общий недостаток всех известных "вихревых" теплогенераторов динамического типа. Этот недостаток присущ, в частности, теплогенераторам марки ТС (производства ФГУП "СПЛАВ", г. Тула). Таким аппаратам необходимы энергоёмкий привод вала ротора, дорогостоящая динамическая балансировка массивного ротора, применение выносных подшипниковых опор с радиальными уплотнениями, а также циркуляционный насос. Аппараты ТС требуют также применения аппаратуры плавного пуска (именно ввиду больших моментов инерции роторов).

Гидродинамический теплогенератор "БРАВО" (Би-Роторный Аппарат Волновой Отопительный) (рис. 2) представляет собой новый тип гидродинамического теплогенератора, сочетающий преимущества статических и динамических теплогенераторов и лишённый их недостатков. В аппарате вокруг неподвижной геометрической оси установлены, как минимум, два ротора — активатор и генератор. На периферии активатора расположены вихревые камеры. Генератор выполнен по принципу Сегнера колеса. Роторы вращаются во встречном направлении. При этом циклически генерируются гидроудары путём перекрытия генератором выходов вихревых камер активатора. Гидроударные волны из перекрытых камер перепускаются в тыловые зоны открытых камер. Имеются средства саморегулирования энергообмена роторов с рабо-

чим телом. Всё это обеспечивает большую амплитуду и широкий частотный спектр колебаний, а также высокую эффективность кавитации при малом гидравлическом сопротивлении. Конструкция аппарата позволяет избежать общего недостатка аппаратов динамического типа — наличия валов с жёстко посаженными на них роторами, а также кавитационного износа роторов (зоны кавитации локализованы в осевых зонах рабочих камер, вне контакта с их поверхностями).

В ряде статей и особенно в рекламных материалах продавцов "вихревых" теплогенераторов заявляется о "коэффициентах преобразования", превышающих 100 %. Кроме того, в этих публикациях содержатся сведения об "исключительно высокой эффективности" теплогенераторов, но не говорится, как ее определяли. Рассмотрим методики определения эффективности "вихревой" теплогенерирующей установки Ковровского завода имени Дегтярёва (ОАО "Зид").

Первая методика "Методы контроля теплопроизводительности ВТУ" включает следующие пункты:

1. Проверка потребляемой мощности.

1.1. Потребляемая мощность контролируется при помощи универсального измерителя электрической мощности MIC-2090W MOTECH INDUSTRIES INC путем непосредственного замера потребляемой мощности.

1.2. Допускается определение потребляемой мощности путем замера величины силы тока.

В этом случае потребляемая мощность определяется по формуле $P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi \eta$, где U_{ϕ} — фазное напряжение; I_{ϕ} — фазный ток; $\cos \varphi$ — угол сдвига между током и напряжением; η — КПД электродвигателя.

2. Проверка теплопроизводительности, массы теплоносителя, прокачиваемого через установку.

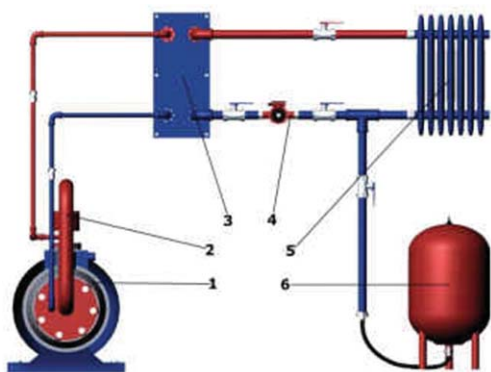


Рис. 1. Тепловой пункт с использованием теплогенератора "БРАВО":

1 — электронасосный агрегат; 2 — "БРАВО"; 3 — бак-теплоаккумулятор; 4 — циркуляционный насос; 5 — радиатор отопительный; 6 — расширительный бак

2.1. Контроль значений температуры, расхода, теплопроизводительности осуществляется по монитору теплосчетчика КМ-5-2-25/25-ПП/ПП-0-1-2-0-0-0-1 при достижении теплового баланса (рис. 3).

2.2 Регулировку теплового баланса производить с помощью открытия/закрытия заслонок раструба калорифера и/или кранами К2, К3.

Тепловой баланс считать достигнутым при установившейся температуре в диапазоне $75 \pm 15^\circ\text{C}$ с колебанием температуры $t = \pm 2^\circ\text{C}$ и колебанием разницы температур $\Delta t \pm 0,3^\circ\text{C}$ в течение 1 ч.

2.3 После получения значения теплопроизводительности по теплосчетчику и определения потребляемой мощности находим соотношение произведенной тепловой энергии и затраченной электрической энергии.

В данной методике контроль теплопроизводительности ВТУ основан на измерении мощности (электрической и тепловой). Это, как известно, дифференциальные параметры, определяемые мгновенными значениями, использование которых значительно увеличивает величину субъективных ошибок. Обеспечить стабильное значение потребляемой электрической мощности практически невозможно, так как фазное напряжение электросети нестабильно, особенно в рабочее время. В любом асинхронном электродвигателе наблюдаются пульсации скольжения потребляемой мощности и т.п. Поэтому недопустимо замерять затраченную электроэнергию с помощью токовых клещей (разовые замеры силы тока). Обеспечить стабильность показаний тепловой мощности, используя теплосчетчики, еще проблематичней. Ведь показания теплосчетчиков постоянно шумят (испытывают скачкообразные изменения), наблюдаются значительные пульсации расхода при работе насоса без стабилизаторов и т.п. Это только часть факторов, дестабилизирующих показания счетчиков тепловой мощности.

Для обеспечения достоверных оценок должно быть использовано измерение тепловой и электрической энергии, произведенной за контролируемой отрезок времени.

Завод имени Дегтярева декларирует КПД установки ВТУ-22 80%. Но если демонтировать этот аппарат с электронасосного агрегата КМ100-65-200 (рис. 4) и вместо него подключить теплогенератор "БРАВО", то один и тот же объем воды в двухсотлитровом бойлере нагреется с 22 до 70°C в 1,852 раза быстрее. Расход же электроэнергии снизится в 1,52 раза.

Но, как будет показано ниже, КПД "БРАВО" не превышает 87,2% (при условии равенства единице теплоемкости механоактивированной воды). Поскольку закон сохранения энергии никто не отменял, КПД установки не может превышать ста процентов.

Не ставя перед собой задачу подтвердить или опровергнуть эффекты, возникающие в процессе работы "вихревых" теплогенераторов (гидромеханических преобразователей электроэнергии в теплоту), мы решили провести измерения выделяемой теплоты по методике ЗАО "НПО "Тепловизор" и с минимальной погрешностью.

На момент начала испытаний (декабрь 2007 г.) макетный образец теплогенератора "БРАВО" входил в

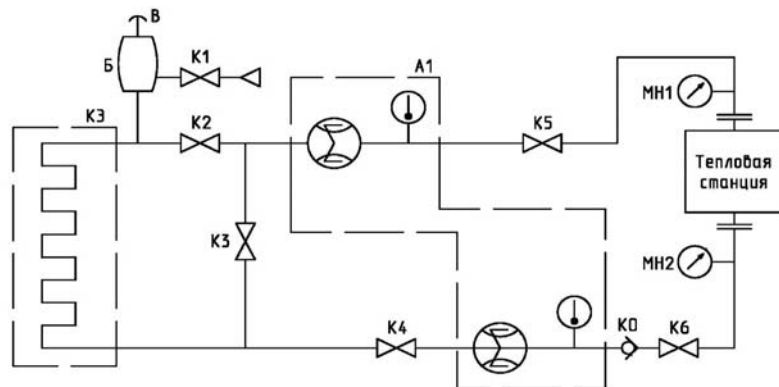


Рис. 3. Схема контроля температуры, расхода, теплопроизводительности при испытании тепловых станций ВТУ на базе теплосчетчика КМ-5-2-25/25-ПП/ПП-0-1-2-0-0-0-1:

А1 — теплосчетчик КМ-5-2; КЭ — калорифер с электровентилем; В — воздухоотводчик; К0 — клапан обратный; К1 — К6 — краны шаровые; МН1, МН2 — манометр; Б — расширительный бак

состав теплового пункта (испытательного стенда), состоящего из электронасосного агрегата, аппарата "БРАВО", трубной обвязки и запорной арматуры. Имелись также трубные ответвления на два теплообменника (бойлера), которые при проведении замеров были перекрыты. Для измерения теплопроизводительности был использован серийный одноканальный электромагнитный теплосчетчик ВИС.Т с первичным преобразователем расхода, который устанавливался на подпиточном трубопроводе. Измерение потребляемой электрической энергии проводилось с помощью электросчетчика типа САУ-И678.

В тепловую установку постоянно подводилась холодная вода, которая после гидромеханических воздействий в теплогенераторе "БРАВО" непрерывно сливалась через накопительный бак в сливной трап бойлерной (рис. 5). Учитывая гидравлическую герметичность установки



Рис. 2. Гидродинамический теплогенератор "БРАВО"

(отсутствие утечек контролировалось визуально), массовый расход воды на входе в установку был равен массовому расходу сливаемой воды.

Для измерения количества генерируемой теплогенератором "БРАВО" тепловой энергии достаточно

определить массовый расход холодной воды, температур (энтальпии) воды на входе и выходе и осуществить численное интегрирование произведения разности энтальпии на массовый расход на контролируе-



Рис. 4. "Вихревой" теплогенератор ВТУ-22 на электронасосном агрегате



Рис. 5. Замеры теплопроизводительности "БРАВО" специалистами ЗАО "НПО "Тепловизор"

мом отрезке времени. Для этого применяли одноканальный теплосчетчик ВИС.Т, укомплектованный подобранной парой платиновых термометров сопротивлений. Теплосчетчики ВИС.Т позволяют измерять количество тепловой энергии с погрешностью не более 4 % в диапазоне разностей температур с 2 до 10 °С и при расходах менее 1 % (до 0,1 %) от верхнего предела измерения.

Теплоёмкость воды, подвергнутой воздействию теплогенератора "БРАВО", условно принята равной единице.

Так как в большинстве случаев практическое использование теплогенератора для обогрева рабочих и жилых помещений требует непрерывных или квазинепрерывных режимов подачи тепла, теплопроизводительность установки измеряли в квазинепрерывном режиме, т.е. в установившемся режиме (температура

сливаемой воды стабилизировалась и не менялась на протяжении часа.

Для минимизации влияния на результаты измерений притока или потерь тепловой энергии с поверхности теплогенератора "БРАВО" в окружающий воздух они проводились при таких расходах подпиточной воды, когда температура корпуса аппарата и сливаемой воды на 1—3 °С выше или ниже температуры воздуха в бойлерной.

Было проведено две серии измерений при различных условиях.

Первая серия проводилась при температуре воздуха в бойлерной +31,0 °С, температуре воды на выходе теплогенератора "БРАВО" —31,4 °С и температуре на корпусе 31,4 °С. Измерения проводились в течение 3600 с. Значения тепловой энергии Q , полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице.

Таким образом, расход электроэнергии равен 14,3 кВт·ч, или тепловой 12,303 Мкал. КПД теплогенератора составил $\eta = 10,0460/12,303 = 0,817$ (81,7 %).

Вторая серия проводилась при температуре окружающей воды —31,0 °С, температуре воды на выходе установки —28,2 °С и температуре на корпусе установки —29,8 °С. Время измерений 3600 с (см. таблицу).

В ходе экспериментов было затрачено электроэнергии 15,2 кВт·ч или 13,78 Мкал. КПД теплогенератора составил $\eta = 11,1716/13,78 = 0,854$ (85,4 %).

С учетом максимально возможной погрешности измерений КПД установки в опробованных режимах работы равен 75,6 — 87,2 %. Потери в обмотках электродвигателя (теплота, отдаваемая ими окружающей среде) хорошо коррелируют с разностью между затраченной электроэнергией и высшим значением теплового КПД макетного образца теплогенератора "БРАВО". При этом следует отметить, что потери на нагрев обмотки электродвигателя в данном конкретном случае перестают быть потерями и идут на обогрев помещения, где установлен насосный агрегат.

Становится вполне реальным доработать конструкцию теплогенератора "БРАВО" таким образом, чтобы тепловой КПД равнялся КПД электродвигателя, приводящего насос. В этом случае аппарат следует оснастить погружным электронасосным агрегатом и поместить такой агрегат в термоизолированный бойлер, чтобы вода нагревалась с тепловым КПД равным 1.

Гидродинамический теплогенератор "БРАВО" можно применять

для обеспечения горячего водоснабжения. Теплоснабжение сооружений, не имеющих центрального отопления или удаленных от котельных, с помощью теплогенератора "БРАВО" позволяет сократить затраты на 30 — 50 % за счет разницы дневного и ночного тарифов. Теплогенератор "БРАВО" работает ночью, нагревая достаточное для отопления днем количество воды, которая аккумулируется в баке-накопителе. Днем распределение воды осуществляется циркуляционным насосом малой мощности. Контроль параметров системы и регулирование ее работы осуществляется с помощью блока управления с использованием тарифного счетчика.

На сегодняшний день на многих НПЗ существуют требования, согласно которым температура нефти должна быть не менее 22 °С. Из-за того, что в состав нефти входят углеводороды с разной температурой кипения, нефть не имеет постоянной точки кипения. К тому же нагревание снижает вязкость нефти, благодаря чему нагретая нефть гораздо быстрее перекачивается. Для нефти с примесями, такими, как, например, парафин и др., желателен нагрев нефти до температуры 50 — 80 °С, с целью избежания отложения парафина. Использование теплогенератора "БРАВО" позволяет значительно снизить энергозатраты, сократить объемы аппаратов и их металлоемкость, кроме того, повысить качество подготовки нефти.

В технологических процессах многих производственных предприятий (химических, машиностроительных, металлургических), например, имеющих в своем составе гальваническое производство, травильные ванны и т.п., зачастую требуется прямой нагрев химических реагентов — кислотных, солевых, щелочных растворов и др. агрессивных сред. В этих условиях применять ТЭНы и парогенераторы крайне неудобно ввиду необходимости использования специальных стойких к агрессивным средам теплообменников и других громоздких приспособлений. Теплогенераторы "БРАВО" позволяют эффективно и удобно проводить прямой нагрев многих перечисленных выше технологических жидкостей. Работа оборудования регулируется с помощью автоматики.

Литература

1. Гидродинамическая кавитация (свойство, расчёты, применение): Обзорная информация. М: ООО "ИРЦ Газпром", 2003. ■

Зависимость тепловой энергии Q , Мкал, от времени t , с

t	Q^*
0	0/0
300	0,7967/0,9094
600	1,6079/1,8331
900	2,4425/2,7505
1200	3,2830/3,6840
1500	4,1580/4,6118
1800	5,0330/5,5400
2100	5,8800/6,5281
2400	6,7203/7,4733
2700	7,5670/8,4186
3000	8,3100/9,3588
3300	9,2215/10,1001
3600	10,0460/11,1716

В числителе — первая серия измерений, в знаменателе — вторая.