

УДК 621.183, 621.039.5, 621.3, 536.2

ВИХРЕВЫЕ РЕДУКЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРООХЛАДИТЕЛИ

**Канд. техн. наук КАЩЕЕВ В. П.¹⁾, инж. ВОРОНОВ Е. О.²⁾,
магистр техн. наук КАЩЕЕВА О. В.³⁾, инж. УЛАСЮК Н. Н.¹⁾,
докт. техн. наук ГАШЕНКО В. А.⁴⁾, докт. техн. наук СОРОКИН В. Н.¹⁾**

¹⁾ *Белорусский национальный технический университет,*

²⁾ *РУП «Минскэнерго»,*

³⁾ *Университет Штутгарта (IGE),*

⁴⁾ *Электрогорский научно-исследовательский центр
по безопасности атомных электростанций*

Важным элементом оборудования тепловых и атомных электростанций являются редукиционно-охладительные установки (РОУ) и пароохладители (ПО), от которых в значительной степени зависят надежность и время использования установленной мощности энергоустановок. Традиционные РОУ об-

ладают невысокой надежностью, так как в них обрыв дроссельного клапана происходит примерно через 120 нагружений, а защитная рубашка (ЗР) пароохладителя выходит из строя приблизительно через 2000 часов непрерывной работы [1]. После ее поломки корпус ПО подвергается эрозионному износу непосредственным воздействием струи воды, вытекающей из форсунок, из-за чего срок его эксплуатации значительно сокращается. При этом разрушение корпуса ПО может сопровождаться аварией и несчастным случаем [1]. Пароохладитель РОУ является дорогостоящим конструктивным узлом, сложным в ремонте, так как даже замена ЗР в нем является трудноосуществимой.

Как известно, основные недостатки традиционных пароохладительных и редуционно-охладительных устройств вызваны используемым в них способом понижения параметров пара, в первую очередь его температуры. Этот способ состоит в том, что для охлаждения пара в его поток впрыскивается в виде капель охлаждающая вода, причем этот принцип используется как в ПО, так и в РОУ (как при раздельном, так и при смешанном дросселировании и охлаждении пара). Время испарения капель небольшое, но так как скорость потока пара доходит до сотен метров в секунду, то его достаточно, чтобы капли пролетели вместе с паром значительное расстояние (до десятков метров). Отсюда неизбежный вынос охлаждающей воды из пароохладителя в отходящий паропровод и связанные с этим термошоки металла в местах, куда периодически попадает вода. Это приводит к повреждению металла, поломкам оборудования, использующего охлажденный пар. Малая интенсивность тепломассообменных процессов в ПО и РОУ требует больших массогабаритных характеристик.

Авторами предложен эффективный способ понижения давления и температуры пара, состоящий в пропускании пара через вращающееся кольцо охлаждающей воды (или другой жидкости), на основе которого разработано несколько конструкций РОУ, ПО, очень эффективных компактных турбоманометризаторов, устройств для образования паро- и газожидкостных смесей и другой подобной техники [2–26]. В их числе даже компактный ядерный двигатель для беспилотного транспортного средства, способного перемещаться как в погруженном состоянии в морской или пресной воде, так и в атмосфере планеты [27, 28].

В РОУ, предложенной авторами, охлаждение и дросселирование пара производят путем пропускания его через слой охлаждающей воды. Для удержания воды или пароводяной смеси от уноса из-за сообщения им кинетической энергии пара процесс проводят в поле центробежных сил в специально спрофилированной камере смешения строго определенной формы, где и создают вращающийся кольцевой слой воды, проходя через который от периферии к центру пар понижает свои параметры. Благодаря центробежным силам давление на наружной стороне кольца больше давления на его внутренней стороне, и это различие зависит от скорости вращения кольца, его толщины, диаметра и плотности. Проходя через это вращающееся кольцо от периферии к центру, пар перемещается из областей с более высоким давлением в области с более низким давлением и таким образом понижает свое давление. Это часть общего падения давления пара в РОУ. А вначале острый пар уменьшает свое давление на направляющем

аппарате, через который пар тангенциально поступает в камеру смешения. В направляющем аппарате пар разгоняется, т. е. происходит переход части его потенциальной энергии в кинетическую. За счет последней в камере смешения создается и вращается кольцевой слой охлаждающей воды. Температура пара понижается при его барботаже через кольцо охлаждающей воды благодаря происходящим при этом процессам тепломассообмена. Часть первичного пара конденсируется в воде кольца, а вторичный пар (более низких параметров) выделяется при объемном кипении вблизи внутренней стороны кольца. Выходящий пар в зависимости от требований заказчика может быть перегретым, сухим или влажным насыщенным. В расчетном режиме РОУ работает без шума, не содержит подвижных или вращающихся деталей, т. е. там нечему ломаться.

Исследования показывают, что вихревая РОУ может работать без поломок неограниченно долго, по крайней мере, не должны появляться повреждения термоусталостного характера при длительных сроках эксплуатации (более 50 тыс. часов) собственно устройства и примыкающих паропроводов. Отсюда его исключительная надежность. Устройство обладает свойствами саморегулирования при работе на переменных режимах. Из-за высокой интенсивности тепломассообменных процессов оно отличается высокой эффективностью, его размеры и материалоемкость существенно ниже, чем у традиционных устройств. Поэтому при использовании РОУ вихревого типа надежность работы всей энергоустановки повышается. Оценки показывают, что для РОУ паропроизводительностью 150 т/ч при замене ее традиционной конструкции со ступенями гашения в виде дырчатых щитов на конструкцию вихревого типа достигается снижение массогабаритных характеристик примерно в два раза.

В вихревом пароохладителе [7–10], разработанном авторами, используется этот же прогрессивный принцип [2]. Процессы взаимодействия пара и охлаждающей воды проводят в специальной камере определенного профиля в поле центробежных сил. Пути, проходимые паром и водой в камере смешения, значительно больше геометрических размеров устройства, причем траектории движения пара и воды пересекаются, что интенсифицирует теплообмен. Камера смешения одновременно выполняет роль сепаратора влаги. Существенное увеличение эффективности тепломассообмена в вихревом ПО, вызванное тем, что в традиционных ПО тепломассообмен – взаимодействие капель воды и охлаждаемого пара – происходит лишь в одной плоскости, проходящей через ось камеры смешения (т. е. вдоль трубы). В рассматриваемом ПО этот процесс переведен в объем камеры смешения, поэтому объем вихревого ПО на несколько порядков меньше, чем традиционных при той же производительности. Это приводит к тому, что размеры и материалоемкость вихревого ПО в десятки раз ниже, чем у известных аналогов. Это позволило установить вихревой ПО внутри уже имеющегося ПО промперегрева парового котла ТГМП-314 на энергоблоке с турбиной К-300-240 Ново-Лукомльской ГРЭС (когда удаление старого ПО нежелательно). Испытания показали, что пароохладитель надежно работает, понижает температуру пара. Однако если вихревой ПО установлен внутри байпаса, то это повышает аэродинамическое сопротивление последнего, что при его параллельном включении приводит к уменьшению расхода па-

ра через него. Причем чем больше требуется понизить температуру пара (т. е. больше подать охлаждающей воды), тем больше его сопротивление и при установке в байпасе – меньший расход пара. Таким образом, оказалось, что регулировать температуру перегретого пара при таком расположении вихревого ПО затруднительно, а поставить его внутрь основного паропровода пара промежуточного перегрева не представилось возможным. Конструкция вихревого ПО хорошо вписывается в существующие схемы станции по пару и воде. Его конструкция ремонтно- и контролепригодна в условиях электростанции.

Разработанный авторами вихревой ПО установлен в модернизированной системе подачи пара на уплотнения турбоагрегата № 5 МТЭЦ-4.

Эксперименты, проведенные авторами на стендах во ВНИАМе, Электрогорском научно-исследовательском центре по безопасности атомных электростанций и других организациях, показали, что компактные вихревые РОУ, ПО, туманообразователи и прочие компактные вихревые устройства, разработанные авторами статьи, надежно работают в широких диапазонах нагрузок, не ломаются, устойчивы в переходных режимах, обладают пониженными шумовыми характеристиками. Так, однокамерная вихревая РОУ для понижения давления и температуры пара прошла ресурсные стендовые испытания в ЭНИЦ ВНИИАЭС г. Электрогорска. Так как энергооборудование должно надежно работать длительный период времени в различных режимах эксплуатации, любое вновь разрабатываемое изделие должно проработать достаточно длительное время при многочисленных включениях и выключениях, при переменных режимах работы. Эта РОУ при испытаниях успешно отработала 10 000 часов в номинальном и переменном режимах, при режимах пуска и остановки (примерно при 500 включениях). Ее размеры: диаметр – 300 мм, высота – 50 мм, вес – 7 кг. Потребляя на максимальном режиме 1600 кг/ч пара (при номинальном режиме – 1 т/ч) при давлении 3,0 МПа и температуре 350 °С 200 кг/ч воды при температуре 70 °С, устройство производило пар при давлении 0,3 МПа и температуре 130 °С. Никаких повреждений после завершения ресурсных испытаний не обнаружено. Оказалось, что в нормальном режиме работы исключено попадание воды в паропроводы (но это справедливо только при определенном профиле и особенностях конструкции). Устройство обладает свойствами саморегулирования при работе на переменных режимах. Для надежной и быстрой оценки качества получаемого пара, его влажности потребовалась диагностическая система, что и было авторами разработано и использовано [29].

Получены сертификаты об успешных результатах проведенных испытаний различных вихревых устройств. Экспериментальные исследования на много- и однокамерных РОУ показали, что допустимый рабочий диапазон шире у многокамерных РОУ. В них же проще организовать переменные режимы и сделать так, чтобы выходящий из РОУ поток не вращался. Во всех конструкциях обеспечивается получение нужной температуры пара (в зависимости от количества поданной охлаждающей воды получают перегретый, сухой насыщенный, влажный насыщенный пар или пароводяную смесь). Все конструкции РОУ при получении перегретого или сухого насыщенного пара служат сепараторами влаги и вода не выходит из них.

Однако если однокамерные РОУ в оптимальном режиме работают почти без шума, то в многокамерных шум ощутим, к тому же они значительно сложнее в изготовлении.

Сравнение разработанных авторами РОУ и ПО с традиционными, применяемыми в настоящее время в мире на тепловых и атомных электростанциях, показывает, что по массогабаритным характеристикам при одинаковых перепадах давлений и температур вихревые РОУ и ПО меньше традиционных примерно в 2–3 раза и значительно дешевле. При этом разработанные устройства работают с меньшим шумом, без выноса воды в отходящий паропровод, допускают большее число изменений режимов работы (в том числе включений и выключений), более технологичны в изготовлении и просты в эксплуатации, более надежны. Есть техническая документация, разработанная для промышленной РОУ Мосэнерго.

Оценки показывают, что для РОУ паропроизводительностью 150 т/ч при замене ее традиционной конструкции со ступенями гашения в виде дырчатых щитов на конструкцию вихревого типа достигается снижение массогабаритных характеристик примерно в два раза. При этом экономия капитальных затрат (К) для такой РОУ составит порядка 60 тыс. дол., экономия годовых эксплуатационных издержек (И) – около 80 тыс. дол. В итоге экономия приведенных расчетных затрат на одной конструкции РОУ вихревого типа составит: $Z_p = P_n \cdot K + И = 0,15 \cdot 60 + 80 = 89$ тыс. дол., где P_n – коэффициент нормативной эффективности. Так как на одном энергоблоке АЭС мощностью 1000 МВт возможна установка пяти вихревых РОУ, экономический эффект составит более 400 тыс. дол.

Распределение давлений в камере смешения РОУ вихревого типа. Рассмотрим распределение давлений в камере смешения РОУ вихревого типа, схема которого приводится на рис. 1.

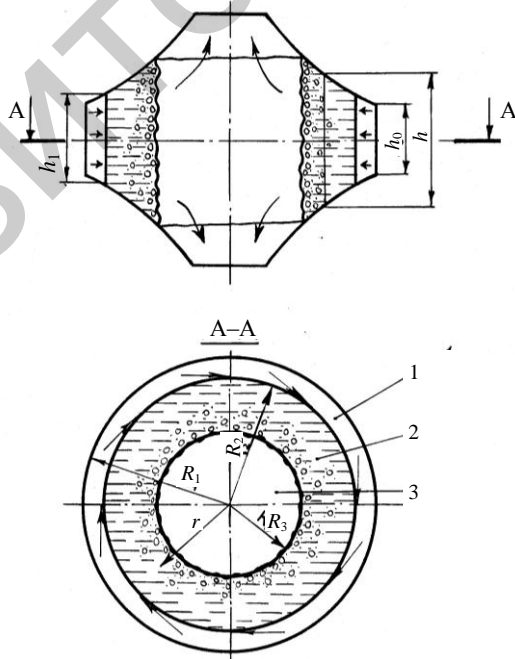


Рис. 1. Схема редукционно-охлаждительного устройства:

1, 3 – пар; 2 – жидкость

Редуцируемый пар с первоначальным давлением p_1 входит в направляющий аппарат устройства, понижает свое давление на $\Delta p_{н.а.}$, выходит из него и попадает или в кольцевой вращающийся слой охлаждающей воды, или в кольцевой слой пара. Согласно сделанному ранее допущению система находится в динамическом равновесии, расход и параметры охлаждающей воды соответствуют расходу и параметрам пара и не происходит их изменения. Толщина и скорость вращающегося слоя воды сохраняются постоянными.

На границе слоя 1 пара и слоя 2 жидкости пар высоких параметров поглощается слоем воды, т. е. происходит конденсация пара. Температура воды здесь ниже температуры кипения. А вблизи границы раздела слоя жидкости 2 и пара 3 происходит кипение, причем давление там и определяет параметры редуцированного пара (p_2).

Таким образом:

$$p_1 = \Delta p_{н.а.} + \Delta p_{к.с} + \Delta p_{движ} + p_2,$$

где $\Delta p_{к.с}$ – потеря давления в кольцевом вращающемся слое воды, которое можно определить так:

$$\Delta p_{к.с} = \frac{F}{S},$$

F – сила, с которой давит вращающаяся вода; S – величина поверхности слоя воды на рассматриваемом текущем радиусе r ($R_2 \leq r \leq R_3$); $\Delta p_{движ}$ – перепад давлений, благодаря которому происходит радиальное перемещение жидкости в кольце воды:

$$\Delta p_{движ} = f \frac{l}{d} \frac{\rho v_r^2}{2},$$

где f – коэффициент трения, являющийся функцией числа Рейнольдса, и шероховатости стенок, может быть найден в [30, 31] или на основании опытов И. Никурадзе [32]; l – длина перемещения жидкости вдоль торцевой стенки камеры; d – гидравлический диаметр сечения ($d = \frac{4S}{\Pi}$, Π – смоченный периметр); v_r – средняя скорость перемещения жидкости по радиусу камеры.

Рассмотрим случай, когда вихревая камера (ее боковые стенки) расширяется по гиперболическому закону, т. е. $h_r = \text{const}$ (h_r – текущая высота камеры смещения на радиусе r).

Отсюда $S = 2\pi r h = 2\pi \text{const} = 2\pi c$, т. е. ее величина сохраняется постоянной по радиусу камеры.

Мысленно разобьем вращающийся слой на несколько (i) тонких подслоев. Каждый из них давит на соседние слои, находящиеся на большем радиусе, с усилием $\Delta F = \Delta m_i a_i$ или в пределе $dF = dm_i a_i$. Суммарное усилие

всех слоев на каком-то радиусе r составит $F = \int_{m(R_3)}^{m(r)} dm_i a_i$.

Так как $a_i = v_i^2/r$, где v_i – текущая окружная скорость воды в кольце на определенном радиусе и $dm_i = \rho 2\pi r h \cdot dr$, то при допущении $\rho = \text{const}$; $v_i = wr$, где угловая скорость $w = \text{const}$ (в предположении псевдоламинарного режима течения жидкости в кольце), получаем:

$$F_{\text{лам}} = \int_R^r 2\pi r c w^2 r dr = \pi r c w^2 (r^2 - R_3^2),$$

отсюда

$$p_r^{\text{лам}} = \rho \frac{w^2}{2} (r^2 - R_3^2) = \frac{\rho w^2 R_3^2}{2} \left[\left(\frac{r}{R_3} \right)^2 - 1 \right], \quad (1)$$

где $p_r^{\text{лам}}$ – давление в слое воды на радиусе r из-за действия центробежных сил.

Если же предположить, что скорость в кольцевом слое воды v_k остается постоянной по слою, т. е. имеется псевдотурбулентный режим течения жидкости, то получаем следующее выражение:

$$p_r^{\text{турб}} = \rho w^2 r^2 \ln \frac{r}{R_3} = \rho v_k^2 \ln \frac{r}{R_3}. \quad (2)$$

Если предположить, что внутри кольца нет вихрей, отсутствуют взаимодействие и обмен энергией составляющих кольца друг с другом, нет внутреннего и внешнего трения (потенциальный режим течения), то, используя закон сохранения момента импульса, можно получить

$$v_i = v_2 \frac{R_2}{r} = v_3 \frac{R_3}{r}.$$

В этом случае выражение для величины F получает следующий вид:

$$F_{\text{пот}} = \pi r c v_3^2 \left[1 - \left(\frac{R_3}{r} \right)^2 \right],$$

отсюда

$$p_r^{\text{пот}} = \frac{\rho v_3^2}{2} \left[1 - \left(\frac{R_3}{r} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Давление, создаваемое всем вращающимся слоем охлаждающей воды, можно определить подстановкой в выражения (1)–(3) значения r для этого случая, т. е. величины радиуса наружного слоя кольца R_2 .

Для удобства анализа введем понятия $r_{\text{отн}} = r/R_3$ и $p_{\text{отн}}$ (равное отношению давления, производимого вращающимся слоем, к произведению плотности на скорость жидкости на внутренней поверхности кольца):

$$p_{\text{отн}} = \frac{p_r}{\rho v_3^2}.$$

В относительных единицах выражения (1)–(3) приобретают следующий вид:

$$p_{\text{отн}}^{\text{лам}} = \frac{r_{\text{отн}}^2 - 1}{2}; \quad (4)$$

$$p_{\text{отн}}^{\text{турб}} = \ln r_{\text{отн}}; \quad (5)$$

$$p_{\text{отн}}^{\text{пот}} = \frac{1 - \frac{1}{r_{\text{отн}}^2}}{2} = \frac{r_{\text{отн}}^2 - 1}{2r_{\text{отн}}^2}. \quad (6)$$

По выражениям (4)–(6) были проведены расчеты, результаты их представлены на рис. 2. Как видно из этого рисунка, при малых толщинах слоя вращающейся жидкости величины потерь давлений на слое, рассчитанные по вышеуказанным выражениям, близки друг к другу.

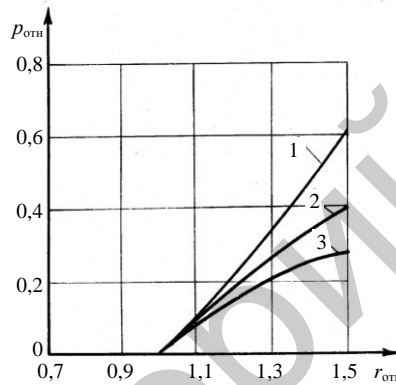


Рис. 2. Распределение давления в слое воды, вызываемого действием центробежных сил (в относительных единицах): 1 – псевдоламинарный режим течения; 2 – псевдотурбулентный режим течения; 3 – потенциальный режим течения

Толщина кольца охлаждающей воды в камере смешения. Очень важной величиной для РОУ вихревого типа является толщина δ кольца охлаждающей воды в камере смешения. Рассмотрим, от каких факторов она зависит.

Ранее были получены выражения для определения распределения давлений в слое жидкости по радиусу из-за действия центробежных сил в предположении псевдоламинарного, псевдотурбулентного и потенциального режимов течения.

Как показано в [33], где рассматривались аэродинамика и теплообмен в ограниченных вихревых потоках, режим течения в вихревой камере при больших скоростях близок к турбулентному. Поэтому для определения давления воспользуемся выражением для псевдотурбулентного режима течения.

При толщине кольца воды $\delta = R_2 - R_3$ из выражения (2) получаем

$$\Delta p_{\text{к.с}} = \rho v_k^2 \ln \frac{R_2}{R_3}.$$

Введя безразмерную величину – относительную толщину слоя $x = \delta/R_2$, имеем

$$\Delta p_{к.с} = \rho v_k^2 \ln \frac{1}{1-x}. \quad (7)$$

Отсюда после преобразования

$$x = 1 - e^{-A}, \quad (8)$$

где $A = \frac{\Delta p_{к.с}}{\rho v_k^2}$.

Разложив экспоненту в ряд Тейлора, можно получить выражения для оценок величины x . При этом, если взять три члена разложения, то для рабочего интервала значений относительной толщины слоя погрешность расчета не превысит 1 %, а при двух членах составит около 5 %. Поэтому для расчетов можно применить выражение, полученное при использовании двух членов разложения:

$$x = \frac{\Delta p_{к.с}}{\rho v_k^2}. \quad (9)$$

По этому выражению были рассчитаны значения относительной толщины вращающегося кольца воды x (для простоты брали одно значение плотности воды $\rho_v = 10^3 \text{ кг/м}^3$).

Результаты расчетов представлены на рис. 3. Верхний предел скорости – значение 500 м/с – взят из соображений, что эта величина при истечении пара для суживающихся сопел является практически предельной (скорость звука в водяном паре составляет 500–600 м/с). Нижний предел – 100 м/с – определяется из условия, что рекомендуемая скорость пара в стационарных трубопроводах, подводящих пар к РОУ и БРОУ, составляет 60–90 м/с [34].

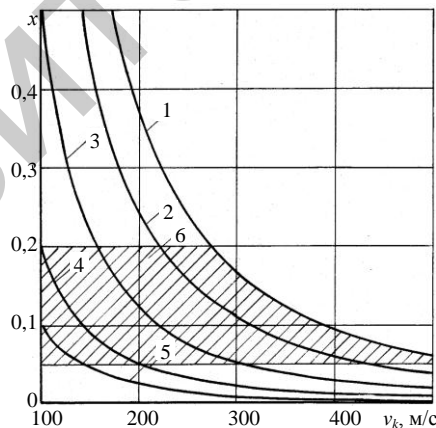


Рис. 3. Зависимость относительной толщины слоя воды от скорости кольца и перепада давлений пара: 1 – давление 15 МПа; 2 – 10 МПа; 3 – 5 МПа; 4 – 2 МПа; 5 – 1 МПа; 6 – рабочий участок толщин слоя воды

Как видно из рис. 3, относительная толщина слоя меняется в широких пределах – от стремящейся к нулю (при больших скоростях) до величин, соизмеримых с радиусом (при скоростях, близких к скорости пара в подво-

дящих трубопроводах). Как показали исследования, для устойчивой работы РОУ относительная толщина слоя охлаждающей воды должна составлять 0,05–0,20. На рис. 3 этот интервал заштрихован.

ВЫВОДЫ

1. Авторами разработан, испытан и запатентован целый класс эффективных вихревых устройств, которые возникли в результате фундаментальных исследований многофазных течений в центробежных силовых полях, понимания сущности происходящих в них процессов и оптимизации их математического описания.

2. Впервые предложен эффективный способ понижения давления и температуры пара в вихревых редуционно- и пароохладительных устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р о б о ж е в, А. В. Редуционно-охладительные установки для тепловых и атомных электростанций / А. В. Робожев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 219 с.
2. С п о с о б обогащения газов парами жидкости и получения туманов: пат. 2.080.189 Российской Федерации / В. П. Кашеев [и др.]. – 1992.
3. Р е д у к ц и о н н о-охладительное устройство: а. с. 1.110.990 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1983.
4. Р е д у к ц и о н н о-охладительное устройство: а. с. 1.266.288 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1985.
5. Д р о с с е л ь н о-охладительное устройство: а. с. 1.263.965 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1985.
6. Р е д у к ц и о н н о-охладительное устройство: а. с. 1.318.763 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1986.
7. С п о с о б запуска устройства для охлаждения перегретого пара: а. с. 1.370.365 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1986.
8. Р е д у к ц и о н н о-охладительное устройство: а. с. 1.467.310 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1988.
9. П а р о о х л а д и т е л ь: а. с. 1.471.735 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1988.
10. С п о с о б охлаждения и редуцирования пара: а. с. 1.715.011 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1990.
11. И с п а р и т е л ь: а. с. 1.726.891 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1991.
12. П а р о г е н е р и р у ю щ е е устройство: а. с. 1.200.824 СССР / В. А. Левадный [и др.]. – 1984.
13. П а р о г е н е р и р у ю щ е е устройство: а. с. 1.268.868 СССР / В. А. Левадный [и др.]. – 1986.
14. С п о с о б охлаждения пара: а. с. 1.759.099 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1989.
15. С п о с о б охлаждения пара: пат. 4.230 Респ. Беларусь / В. П. Кашеев [и др.]. – 2001.
16. С п о с о б заградительного охлаждения выхлопной части цилиндра низкого давления: пат. 8.094 Респ. Беларусь / В. А. Хаимов [и др.]. – 2002.
17. В ы х л о п н о й патрубков паровых турбин: пат. 2.999 Респ. Беларусь / В. П. Кашеев [и др.]. – 2006.
18. Ц и л и н д р среднего давления паровой турбины: пат. 4.203 Респ. Беларусь / В. П. Кашеев [и др.]. – 2007.
19. С п о с о б работы паротурбинной установки в нестационарном режиме: пат. 8.843 Респ. Беларусь / В. П. Кашеев [и др.]. – 2006.
20. Т е п л о о б м е н н а я труба: а. с. 1.211.585 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1985.
21. С п о с о б интенсификации теплообмена: а. с. 1.302.131 СССР / В. Н. Сорокин [и др.]. – 1986.
22. К а s t s c h e j e w, V. P. Modernisierung des Dampzuleitungssystem / V. P. Kastschejew, E. O. Voronov, V. N. Sorokin // XXXV Kraftwerkstechnisches Kolloquim. – Dresden, 2003.

23. K a s t s c h e j e w, V. P. Schutzkühling am ND-Gehäuse-Austritt von Dampfturbinen / V. P. Kastschejew [et al.] // XXXV Kraftwerkstechnisches Kolloquim. – Dresden, 2003.
24. K a s t s c h e j e w, V. P. Reduzier- u. Kuehlstationen und Dampfkuehler auf Wirbelprinzip fuer Kernkraftwerke / V. P. Kastschejew, V. A. Gashenko, K. E. Kastschejewa // XXII Kraftwerkstechnisches Kolloquim. – Dresden, 1990.
25. K a s t s c h e j e w, V. P. Effektivitätssteigerung von HKW durch rekonstruktion des Speisewasservorwarm-systems der Turbinenanlage / V. P. Kastschejew, K. E. Kastschejewa // XXVI Kraftwerkstechnisches Kolloquim. – Dresden, 1994.
26. K a s t s c h e j e w, V. P. Verfahren zur Messung der Damhfeuchtigkeit und Fluesigktitsmenge in stroemendem Dampf oder Dampf-Wasser-Gemischen // V. P. Kastschejew, K. E. Kastschejewa // XXVIII Kraftwerkstechnisches Kolloquim. – Dresden, 1996.
27. Л е в а д н ы й, В. А. Устройство для понижения давления и температуры пара / В. А. Левадный, В. Н. Сорокин, В. П. Кашеев // Труды международного семинара по конверсионной технике, Минск, 17–22 мая 1999 г.: в 2 ч. – Минск, 1999. – Ч. 1. – С. 312–315.
28. L e v a d n y, V. A. The apparatus for lowering pressure and temperature of steam / V. A. Levadny, V. N. Sorokin, V. P. Kascheev // Proceedings of the International Seminar «Conversion of Scientific Research in Belarus within the Framework of ISTC Activity», Minsk, 17–22 May 1999. – Minsk, 1999. – Part 1. – P. 298–300.
29. С п о с о б определения наличия жидкости в движущемся паре или парожидкостной смеси, ее расхода, влажности пара и устройство для его осуществления: а. с. 1.791.765 СССР / В. П. Кашеев [и др.]. – 1989.
30. С п р а в о ч н о е пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер [и др.]; под. общ. ред. Б. Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйш. шк., 1985. – 382 с.
31. К и р и л л о в, П. Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам: Ядерные реакторы, теплообменники. Парогенераторы / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков: под общ. ред. П. Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
32. Ч е р н я к, О. В. Основы теплотехники и гидравлики / О. В. Черняк, Г. Б. Рыбчинская. – 3-е изд., сокр., перераб. – М.: Высш. шк., 1979. – 246 с.
33. К у х л и н г, X. Справочник по физике / X. Кухлинг; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
34. Т е п л о в ы е и атомные электрические станции: справ. / под общ. ред. А. В. Клименко и В. М. Зорина. – 4-е изд. – М.: МЭИ, 2007. – 648 с. (Теплоэнергетика и теплотехника; кн. 3).

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 10.01.2012