

УДК 621.177

В.Я. ГОРБАТЕНКО*, канд. техн. наук, Е.А. ДАНИЛИН**, Д.В. КОЛОСОВ**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

**Научно-техническое предприятие «Котлоэнергопром», г. Харьков

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВЫНОСНОГО ЦИКЛОНА ДЛЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Розроблена нова конструкція двоступінчастого виносного парового циклону. Циклони встановлені на котлі-утилізаторі паропродуктивністю 20 т/г. Котел виробляє перегріту пару енергетичних параметрів: тиск пари 3,9 МПа, температура 440 °С. У конструкції другої ступені сепарації застосовується рециркуляція вологої пари.

The new design of a two-step externally steam cyclone is developed. Cyclones are established on the recovery boiler of steam-generating capacity 20 t/h. The boiler develops superheated steam power parameters: pressure steam 3,9 MPa, temperature 440 °C. In a design of the second step of separation is applied recirculation of damp steam.

Применение выносных циклонов в качестве сепарационных устройств является эффективным средством снижения потерь тепла и воды с непрерывной продувкой паровых котлов [1]. Существует большое количество конструкций, разработанных с учетом конкретных условий работы [1, 2].

Существующие конструкции циклонов можно разделить на две группы:

А – циклоны с одноступенчатой сепарацией;

Б – циклоны с двухступенчатой сепарацией.

Циклоны группы А разделяются на 2 типа:

– циклоны с улиточным вводом пароводяной смеси;

– циклоны с вводом пароводяной смеси через сплюснутые патрубки [2].

Одноступенчатые циклоны с улиточным вводом отличаются высокими показателями по сепарации пара, однако, их применение ограничено для циркуляционных контуров с низкой высотой из-за высокого гидравлического сопротивления улиточного ввода. Это ограничение снимается в циклонах со сплюснутыми патрубками, имеющих низкое гидравлическое сопротивление.

Для циркуляционных контуров с низкой высотой применяются также двухступенчатые циклоны, имеющие низкое гидравлическое сопротивление первой ступени сепарации, включенной в циркуляционный контур, и вторую ступень с высокой сепарационной способностью [1]. Циклон такой конструкции был установлен и испытан на котле с безбарабанной сепарацией пара паропроизводительностью 50 т/ч, с давлением пара $P = 24$ кгс/см². Исследования опытного циклона проведены при давлении пара 10-15 кгс/см² и солесодержании котловой воды до 43000 мг/кг. При этом определено влияние уровня воды в циклоне, соотношение скоростей пара и ряда других факторов на эффективность работы циклона. Полученными опытными данными подтверждается высокая эффективность работы двухступенчатого циклона, обеспечивающего выдачу пара с солесодержанием до 0,3 мг/кг при солесодержании котловой воды до 20000 мг/кг и осевой скорости пара в циклоне до 1,6 м/с. Ниже приведена техническая характеристика и принцип работы опытного двухступенчатого циклона. Циклон выполнен из трубы $\varnothing 325 \times 10$ мм. Пароводяная смесь подводится по

двум трубам $\varnothing 108 \times 4$ мм к улитке 1-й ступени сепарации, в которой производится предварительная сепарация пароводяной эмульсии. Пар в 1-й ступени сепарации движется вверх, а отсепарированная вода по стенке корпуса поступает в водяной объем циклона (движется вниз). После 1-й ступени сепарации влажный пар направляется в сопловой аппарат 2-й ступени, в которой происходит окончательное разделение пара и воды. Вода, отсепарированная во 2-й ступени, направляется по сливной линии $d_{\gamma} 50$ в водяной объем 1-й ступени сепарации циклона.

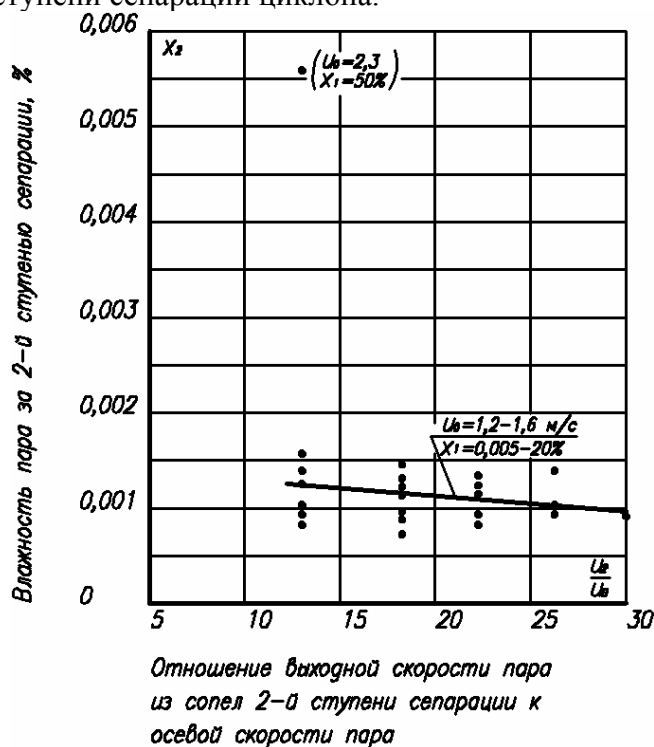


Рис. 1. График зависимости влажности пара за 2-й ступенью сепарации от отношения скоростей пара u_2/u_0

Вторая ступень сепарации представляет собой сопловой аппарат с тремя тангенциально расположенными соплами; выходная площадь сечения сопел может плавно изменяться. Таким образом, в опытном циклоне отношение выходной скорости пара во второй ступени сепарации u_2 к осевой скорости u_0 может плавно изменяться в значительных пределах ($13 \div 30$), что дает возможность установить влияние этого параметра на эффективность работы циклона.

По результатам проведенных исследований определены зависимости качества пара от уровня воды в циклоне и от соотношения скоростей пара u_2/u_0 , которые приведены на рис. 1, рис. 2.

Согласно графику, приведенному на рис. 1, циклон обеспечивает получение чистого пара с влажностью 0,001% при осевой скорости до 1,6 м/с и отношении выходной и осевой скоростей пара во второй ступени сепарации $u_2/u_0 = 13$. При $u_2/u_0 = 13$, $x_1 = 50\%$ и увеличении u_0 до 2,5 м/с влажность пара x_2 достигает значений 0,0056 %.

Согласно графику на рис. 2 положение уровня воды в циклоне оказывает значительное влияние на влажность пара x_1 за 1-й ступенью сепарации. При расстоянии от уровня воды в циклоне до улитки меньше чем 750 мм происходит резкое ухудшение качества пара после 1-й ступени сепарации. А так как величина влажности пара x_2 за

2-й ступенью сепарации зависит от влажности пара x_1 , то качество пара на выходе из циклона также ухудшается.

При проведении опытов были проведены замеры гидравлического сопротивления 2-й ступени сепарации и получен опытный коэффициент сопротивления, который примерно в 2 раза превышает расчетный. При определении потерь давления во 2-й ступени сепарации рекомендуется [1] принимать коэффициент сопротивления равным коэффициенту сопротивления на выходе из соплового аппарата $\zeta = 1,1 \div 1,2$. При этом учитывается только гидравлическое сопротивление выхода из сопел и не учитываются потери давления на остальных участках соплового аппарата, что приводит к погрешностям. Сопротивление 2-й ступени сепарации имеет большое значение, так как от него зависит уровень воды в сливной линии.

Общим недостатком всех конструкций выносных циклонов является низкое значение предельно допустимой осевой скорости пара (по условиям обеспечения требуемого качества пара) [1, 2], что приводит к установке большого количества циклонов, увеличению веса и стоимости котлов.

Причиной ограничения осевой скорости пара является противоточное движение пара (вертикально вверх) и настенной пленки уловленной из пара воды (вертикально вниз). При определенной скорости пара, величина которой зависит, в основном от давления, происходит срыв пленки и нарушение нормального режима работы циклона.

Опыт использования циклонов со сплюснутыми входными патрубками (серийный котел Е-75-39/440 Белгородского завода «Энергомаш», серийный котел БКЗ-75-39/440 Барнаульского завода «Энергомаш», реконструкция котлов типа ДКВР с применением выносных циклонов) показал, что эти циклоны работают недостаточно эффективно: при солесодержании котловой воды ≈ 7000 мг/кг происходит ухудшение качества пара. Улучшение технологии изготовления циклонов, примененной АОЗТ НТП «Котлоэнергопром» (наличие сварного стыка на ≈ 400 мм ниже оси нижнего подвода пароводяной смеси для проверки и зачистки внутренней поверхности корпуса циклона и кромок сплюснутых патрубков) повышает допустимое солесодержание котловой воды незначительно – до 7500 мг/кг.

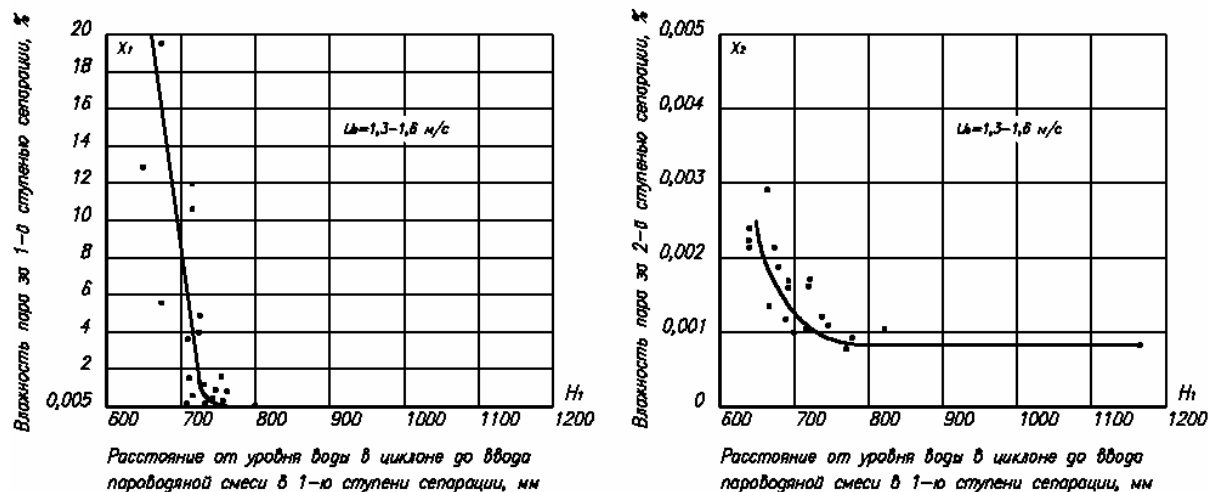


Рис. 2. График зависимости влажности пара за 1-й и 2-й ступенями сепарации от положения уровня воды в циклоне

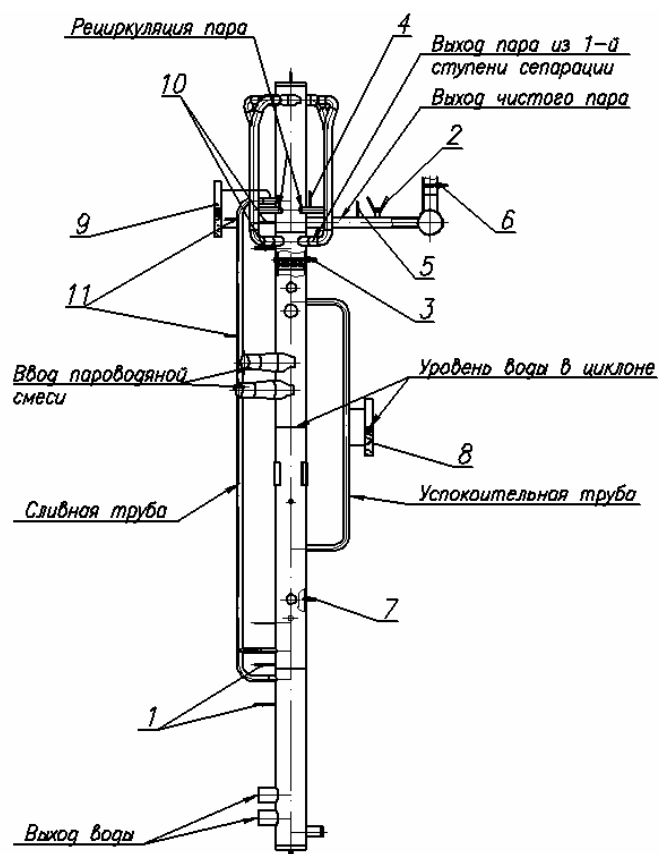
Учитывая положительные стороны и недостатки предыдущих конструкций циклонов специалистами АОЗТ НТП «Котлоэнергопром» разработана новая конструкция выносного циклона, в которой внедрены следующие конструктивные решения: применен ввод пароводяной смеси через сплюснутые патрубки; применено однонаправленное движение воды и пара во 2-й ступени сепарации; применена рециркуляция влажного пара. Циклоны установлены на котле-утилизаторе с безбарабанной сепарацией пара, спроектированном АОЗТ НТП «Котлоэнергопром» для Шебелинского ОПГКН. Паропроизводительность котла 20 т/ч, давление пара 3,9 МПа, температура перегретого пара 440 °С.

Циклон выполнен из трубы $\varnothing 325 \times 16$ мм. Пароводяная смесь подводится по четырем трубам к сплюснутым патрубкам 1-й ступени сепарации, в которой производится грубое отделение влаги. Оси нижних патрубков находятся на 750 мм выше уровня воды в циклоне. Влажный пар после 1-й ступени сепарации направляется вверх, проходит дырчатый лист и по четырем перепускным трубам подается к сплюснутым патрубкам 2-й ступени сепарации. Отсепарированная в 1-й ступени сепарации вода, а также вода, уловленная дырчатым листом, в виде настенной пленки стекает в водяной объем циклона.

Во 2-й ступени сепарации влажный пар, пройдя сплюснутые патрубки, приобретает вращательное движение под определенным углом к оси циклона. Дальше пар через конфузур поступает в сопловой аппарат, сопла в котором выполнены под тем же углом, что и направление вращения. Отношение скорости пароводяной смеси на выходе из сопел к осевой скорости составляет ≈ 20 и благодаря этому происходит окончательное разделение пара и воды. Потоки пара и воды, двигаясь в одном направлении (вниз), поступают в три камеры. Расстояние от сопел до начала камер, необходимое для разделения потоков пара и воды, составляет $2,5D$ циклона, что соответствует рекомендациям [3]. Согласно проведенным исследованиям [3] чистый пар находится в центре сечения циклона, более влажный пар находится ближе к стенке корпуса, а самый влажный пар и вода находятся возле стенки корпуса. Соответственно расположены и три камеры: центральная камера чистого пара, средняя камера влажного (рециркуляционного) пара находится ближе к стенке корпуса, а вода поступает в крайнюю камеру. Чистый пар из циклона подается в паросборный коллектор насыщенного пара. Рециркуляционный пар из средней камеры эжекторами, расположенными в перепускных трубах, подается в сопловой аппарат 2-й ступени для повторной сепарации. Вода, отсепарированная во 2-й ступени, направляется по сливной линии $d_1 50$ в водяной объем 1-й ступени сепарации циклона.

В конструкции циклона предусмотрены технические решения, исключающие недопустимое повышение уровня воды в сливной линии при всех режимах работы циклона.

В настоящее время циклон проходит испытания. Во время испытаний проводятся следующие измерения (схема измерений приведена на рис. 3).



- 1 – расход циркуляционной воды; 2 – расход пара от циклона;
 3 – солесодержание пара после 1-й ступени сепарации;
 4 – солесодержание рециркуляционного пара;
 5 – солесодержание пара после 2-й ступени сепарации;
 6 – солесодержание насыщенного пара в паросборном коллекторе;
 7 – солесодержание котловой воды;
 8 – уровень воды в циклоне (водоуказательный прибор);
 9 – уровень воды в сливной линии циклона (водоуказательный прибор);
 10 – перепад давлений между 1-й и 2-й ступенями сепарации;
 11 – перепад давлений в сливной линии

Рис. 3. Схема измерений циклона

Литература

1. Бузников Е. Ф. Циклонные сепараторы в паровых котлах. – М.: Энергия, 1969. – 248 с.
2. ОСТ 108.838.10-80 Циклоны выносные котлов низкого и среднего давления.
3. Кемельман Д. Н. Линейная сепарация влажного пара. – М.: Энергоиздат, 1982.

© Горбатенко В.Я., Данилин Е.А., Колосов Д.В., 2007