

- Nisi Masasi, Watanabe Tuneyasu, Shimada Yaruо [etc.] – Zayav. 16.01.69, opubl. 16.08.74. (Jap.)
8. Pat. 3853544. USA, МКІ С22С 39/54, 39/20. Corrosion-resistant steel, having good weldability / Hoshi Tadashi, Watanabe Tuneyasu, Shimada Yaruо [etc.] – № 269084; zayav. 5.07.72, opubl. 10.12.74.
  9. Pat. 49-8610. Japan, МКІ С22С 39/00. Corrosion-resistant and low-alloy steel / Mazukura Kameo, Nisi Masasi, Watanabe Tuneyasu, [etc.] – Zayav. 22.07.69, opubl. 27.02.74. (Jap.)
  10. Lublinskiy E.Y. Electrochemical corrosion protection / E.Y. Lublinskiy. – М. : Metallurgy, 1987. – 96 p. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов,  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.10.2012

УДК 669.184.244

©Сущенко А.В.<sup>1</sup>, Чернятевич А.Г.<sup>2</sup>, Гриценко А.С.<sup>3</sup>

### ОРГАНИЗАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗАСОПЛОВЫХ ЗОН НАКОНЕЧНИКОВ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ ВЕРХНЕГО ДУТЬЯ

*С использованием результатов численного моделирования гидродинамики течения воды в наконечниках кислородных фурм различных конструкций выполнен анализ эффективности охлаждения засопловых зон торцевой части головок. Разработаны новые технические решения, направленные на улучшение охлаждения и повышение стойкости конвертерных фурм.*

**Ключевые слова:** кислородная фурма, наконечник, система охлаждения, засопловые зоны, гидродинамика, численное моделирование, повышение стойкости.

*Сущенко А.В., Чернятевич А.Г., Гриценко А.С. Організація охолодження засоплових зон наконечників кисневих фурм для верхньої продувки конвертерної ванни. З використанням результатів чисельного моделювання гідродинаміки течії води в наконечниках кисневих фурмах різних конструкцій виконаний аналіз ефективності охолодження за соплових зон на торцевій частині головок. Розроблені нові технічні рішення, спрямовані на покращення охолодження та підвищення стійкості конвертерних фурм.*

**Ключові слова:** киснева фурма, наконечник, система охолодження, засоплові зони, гідродинаміка, чисельне моделювання, підвищення стійкості.

*A.V. Sushchenko, A.G. Chernytevich, A.S. Gritsenko. Organization of cooling of areas behind nozzles of tips of top blown oxygen lances. Analysis of efficiency of cooling on the butt end of lance tip with using results of numeral modeling of hydrodynamics of flow of water in oxygen top blown lances different constructions is executed. New technical decisions, directed on improvement of cooling and rising of firmness of lances are developed.*

**Keywords:** oxygen lance, tip, cooling system, areas behind nozzles, hydrodynamics, numeral modeling, rise of firmness.

**Постановка проблемы.** При использовании фурм с центральным подводом воды, а также фурм с центральным подводом кислорода (при условии, что диаметр центрального отверстия разделителя воды меньше диаметра окружности, проходящей через оси сопел) может быть

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Национальная металлургическая академия Украины», г. Днепропетровск

<sup>3</sup> инженер ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

обеспечено эффективное охлаждение наиболее теплонапряженных участков медной головки фурмы – центральной части ее нижнего торца, а также передней (по ходу воды) части выходных участков продувочных сопел [1]. Однако, в засопловых областях наконечника образуются зоны с вихревым низкоскоростным движением воды (далее по тексту – засопловые застойные зоны воды), что приводит к ухудшению охлаждения задней части выходных участков сопел и мест их соединений с нижней торцевой частью головки, ускоренному разрушению присопловых сварных швов (при сварной конструкции) и снижению стойкости наконечника в целом. При этом также интенсифицируется разгар (эрозия) сопел и, как следствие, дестабилизируется дутьевой режим и ухудшаются технико-экономические показатели плавки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Авторами [2-4] был разработан и опробован на 250-т конвертерах ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского» (ДМК) ряд технических решений, направленных на ликвидацию засопловых застойных зон и улучшение охлаждения наконечников кислородных фурм с центральным подводом воды. Однако, как отмечают и сами авторы [2], не все разработанные варианты конструкций систем охлаждения наконечников оказались достаточно эффективными. Для улучшения охлаждения засопловых участков головки фурмы с центральным подводом кислорода были предложены технические решения [5], в которых за счет выполнения специальных отверстий в разделителе охлаждающей воды обеспечивается переток ее части в указанные зоны, минуя центральное межсопловое пространство наконечника. Однако в литературе отсутствуют данные экспериментальных и аналитических исследований о влиянии такого перетока на структуру течения охлаждающей воды в фурменном наконечнике и его стойкость.

**Целью** настоящей статьи являлось проведение анализа эффективности работы существующих и разработка новых систем охлаждения головок кислородно-конвертерных фурм, позволяющих существенно уменьшить или исключить образование в них застойных засопловых зон воды и, как следствие, уменьшить эрозийный износ выходных участков сопел, повысить стойкость и надежность работы дутьевого устройства.

**Изложение основного материала.** Анализ эффективности работы систем охлаждения кислородных фурм выполнялся на основе результатов численного моделирования (с использованием программного комплекса FlowVision) гидродинамики течения воды в наконечниках различных конструкций по методике, изложенной в [6].

В качестве объекта исследования рассматривались конструкции систем охлаждения наконечников кислородных фурм: с центральным подводом воды 250-т конвертера ДМК и с центральным подводом кислорода 350-т конвертера МК «Азовсталь» (диаметр наружной трубы фурмы 426 мм, расход охлаждающей воды 300 м<sup>3</sup>/ч и 450 м<sup>3</sup>/ч соответственно).

Типовая конструкция наконечника кислородной фурмы с центральным подводом охладителя и результаты моделирования гидродинамики течения воды в нем приведены на рис. 1, 2. Как видно из представленных данных, во внутреннем пространстве головки формируются вихревые застойные зоны воды трех типов, располагающиеся соответственно:

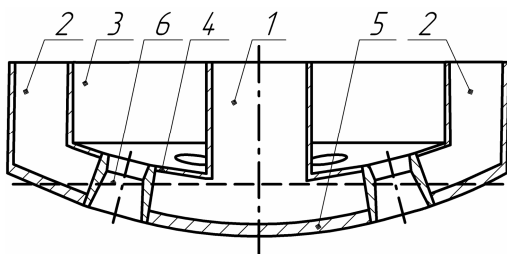


Рис. 1 – Схематическое изображение наконечника кислородной фурмы с центральным подводом воды: 1, 2 – тракты подвода и отвода воды; 3 – тракт подвода кислорода; 4, 5 – верхняя и нижняя тарелки (чаши) головки; 6 – продувочные сопла (6 шт.)

под верхней тарелкой, вблизи центра нижней тарелки и за каждым соплом.

Застойная кольцевая зона первого типа образуется в результате резкого разворота потока воды в наконечнике и влияет практически только на потери давления охладителя в нем. Она может быть значительно уменьшена или исключена за счет оптимизации расстояния для прохода воды между верхней и нижней тарелками и геометрии узла соединения патрубка подвода воды с верхней тарелкой. Центральная застойная зона полностью устраняется выполнением нижней тарелки с вогнутой центральной частью. Положение засопловых застойных зон (третьего типа) является достаточно устойчивым; в связи с высокой турбулентностью течения воды в головке их

объем прецессирует: эквивалентный диаметр колеблется в диапазоне  $0,5 \div 1$  наружного диаметра сопла.

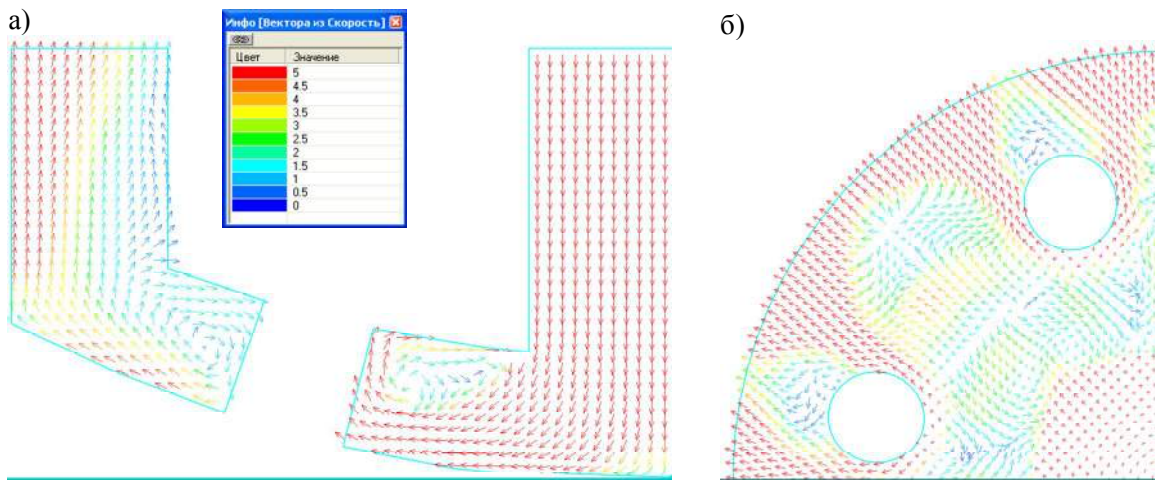


Рис. 2 – Векторное поле скоростей течения воды в фурменном наконечнике (рис. 1) в вертикальной плоскости, проходящей через оси сопла и головки (а) и в горизонтальной плоскости (вырезан сектор), отстоящей на 35 мм от нижней точки внутренней поверхности нижней тарелки (плоскость показана пунктирной линией на рис. 1 и синей линией на рис. 2, а

Для решения проблемы охлаждения засопловых участков торцевой части наконечника и выходных участков продувочных сопел в работах [2, 3] были предложены технические решения, основанные на симметричной установке за каждым соплом специальных направляющих лопастей в форме полукольца для организации направленной подачи части потока охладителя за сопла. В первом варианте конструкции фурменной головки направляющие лопасти устанавливались на специальные выступы (ножки), так, что между лопастями и нижней тарелкой имелся симметричный зазор (щель) для прохода воды; также между соплом и лопастью (посередине последней) была выполнена дополнительная разделительная перегородка. Во втором варианте конструкции наконечника, с целью упрощения его изготовления и сборки, направляющие лопасти не имели симметричного выреза нижнего торца и крепились к верхней тарелке посредством сварки, а центральная перегородка отсутствовала. В результате опытно – промышленных испытаний было получено, что стойкость фурменных головок по первому варианту увеличилась на 20 % по сравнению с аналогичными шестисопловыми головками без направляющих лопастей. Второй вариант оказался не работоспособным из-за существенного снижения пропускной способности фурмы по охлаждающей воде, что, по мнению авторов [2], связано со столкновением встречных потоков воды в коаксиальном кольцевом зазоре за соплом и образованием обратных токов охладителя. После модернизации второго варианта конструкции наконечника «по примеру первой» было устранено снижение пропускной способности водяного тракта фурмы и достигнуто увеличение стойкости наконечников на 17 % (примерно такое же, как и для первого варианта).

Как показали результаты численного моделирования (см. рис. 3), сложное турбулентное течение охладителя во внутреннем пространстве головки можно представить в виде квазистационарной картины, выделив при этом характерные потоки, в наибольшей степени определяющие общую макроструктуру течения воды. При использовании в системе охлаждения наконечника направляющих лопастей по первому варианту конструкции (см. рис. 3 а), предложенной в [2], поступающий поток охладителя, движущийся вдоль нижней тарелки, возле каждого сопла разделяется на две части: одна поступает в зону перекрытия проходного сечения телом лопасти, а вторая движется между лопастями. Нижний слой (с толщиной приблизительно равной высоте ножек лопасти) первой части водяного потока обтекает сопло, образуя за ним вихревую за-

стойную зону (третьего типа). Нижний слой второй части потока образует за ножками (передними и задними по ходу воды их кромками) дополнительные вихревые зоны, ухудшающие охлаждение головки. При этом «организованного вращательного течения воды вокруг сопла» [2] (первой части потока) ножки не обеспечивают. Из-за их малых площади и угла разворота движущийся между ножкой и соплом высокоскоростной поток охладителя практически не разворачивается в засопловую зону. Верхний слой первой части поступающего потока воды при попадании в кольцевой зазор между соплом и направляющей лопастью перенаправляется в щель между лопастью и нижней тарелкой головки и частично или полностью (в зависимости от параметров лопасти и места ее расположения относительно сопла) разрушает засопловый вихрь, образованный нижним слоем первой части потока охладителя. В зависимости от формы и размеров (прежде всего высоты) лопасти часть воды может перетекать и над ней.

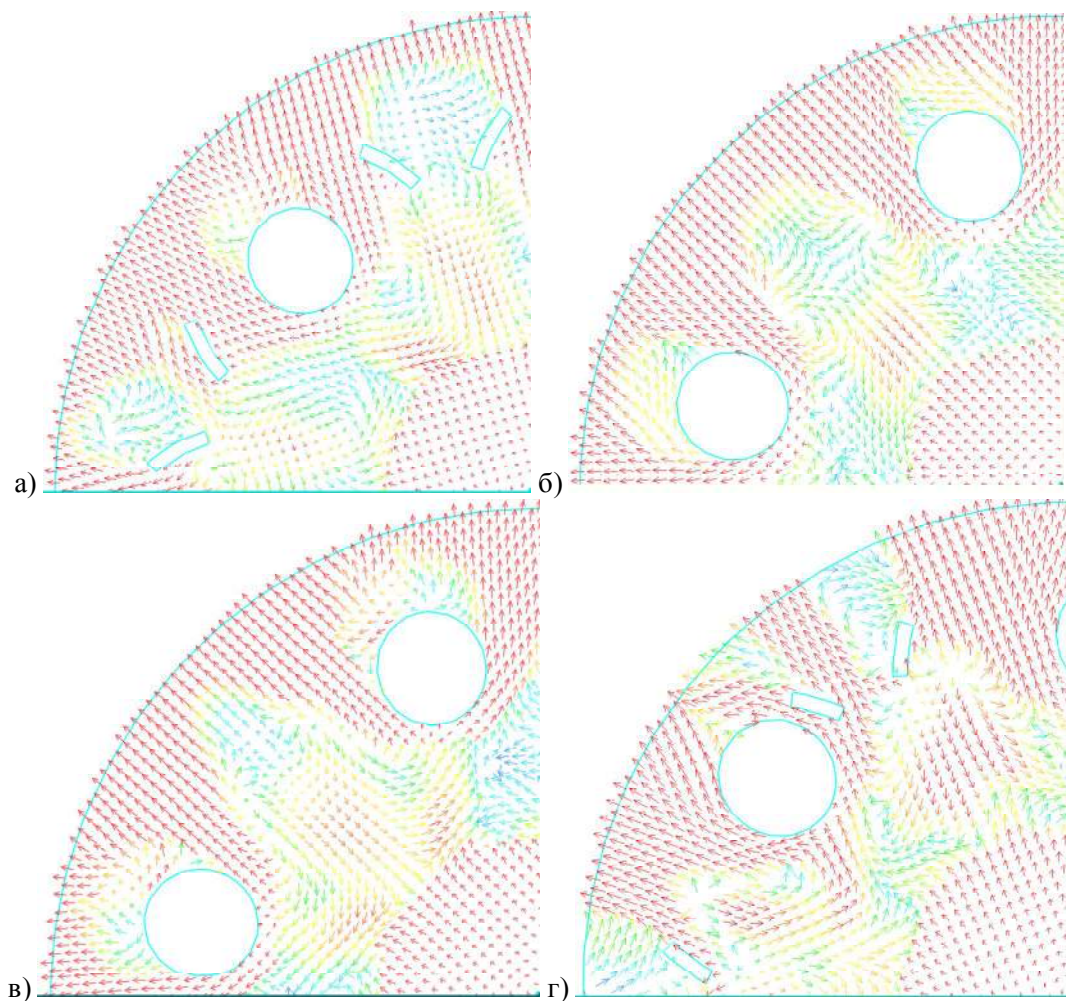


Рис. 3 – Результаты численного моделирования гидродинамики течения воды в наконечнике фурмы 250-т конвертера с центральным подводом охладителя и направляющими лопастями, установленными на: а) – нижней тарелке фурмы; б), в) – на верхней тарелке фурмы без и с центральной перегородкой соответственно; а) – в) – симметрично относительно соответствующих сопел; г) – на нижней тарелке фурмы асимметрично относительно сопел; положение горизонтальной плоскости визуализации течения аналогично, как и на рис. 2

При увеличении площади ножек направляющих лопастей (за счет уменьшения длины дуги выреза) возможно разрушение засоплового вихревого течения нижним слоем первой части потока охлаждающей воды. Однако при этом существенно увеличиваются гидравлическое сопротивление головки и размеры вихревых застойных зон воды за ножками лопастей.

Для организации качественного охлаждения засопловых зон в головке зазоры для прохода воды между направляющими лопастями и поверхностью нижней тарелки должны быть достаточно малыми (например, для фурменного наконечника 250 т конвертера: 1-5 мм), что затрудняет изготовление (сборку) наконечника фурмы.

При использовании направляющих лопастей по второму варианту конструкции (см. рис. 3 б), предложенной в [2], нижний слой поступающего потока охладителя обтекает сопло и образует за ним вихревую зону. Часть верхнего слоя водяного потока, попадающая в кольцевой зазор между соплом и лопастью, перенаправляется ею вниз за сопло (в корневую часть указанной вихревой зоны). Учитывая наличие в головке верхней кольцевой застойной зоны воды, для улучшения охлаждения засопловых зон зазоры для прохода воды между направляющими лопастями и поверхностью нижней тарелки должны быть меньше толщины поступающего высокоскоростного потока охладителя, движущегося вдоль нижней тарелки фурмы (см. рис. 2 а). Однако в этом случае из-за значительного перекрытия проходного сечения воды лопастями существенно возрастает гидравлическое сопротивление водяного тракта головки, что приводит к снижению расхода охладителя через фурму. Это также подтверждается и результатами опытно-промышленных испытаний, приведенных в [2].

По мнению авторов работы [2], наличие перегородки между серединой направляющей лопасти и соплом принципиально в лучшую сторону влияет на структуру течения воды в засопловой зоне: за счет исключения столкновения встречных потоков воды между собой в коаксиальном кольцевом зазоре перегородка препятствует образованию обратных потоков охладителя в верхнем слое над симметричной щелью. При наличии указанной перегородки как в первом, так и во втором вариантах конструкции системы охлаждения, (см. рис. 3), указанные потоки не сталкиваются друг с другом, но сталкиваются с перегородкой, что не исключает образование обратных токов воды и снижения энергии ее направленного циркуляционного течения под лопастью. Кроме того, наличие перегородки может привести к увеличению турбулизации течения в засопловой зоне и, как следствие, к неравномерности охлаждения в ней нижней части фурменного наконечника (см. рис. 3 б и 3 в).

Следует отметить, что организованная подача воды в засопловую область головки с использованием направляющей лопасти, с целью эффективного разрушения вихревой застойной зоны, принципиально может быть реализована по двум основным вариантам: перенаправление нижнего слоя поступающего потока охладителя передней (по ходу воды) частью лопасти (за сопло сбоку) и перенаправление его верхнего слоя лопастью в зазор между ней и нижней тарелкой (за сопло сверху). Во втором случае при разработке системы охлаждения фурменного наконечника необходимо учитывать размеры верхней кольцевой застойной зоны воды (первого типа), так как перенаправление энергетически слабого низкоскоростного течения из нее в засопловую зону не позволяет решить поставленную задачу. Следует также отметить, что реализация смешанного варианта организации подачи охладителя в засопловую зону является нерациональной из-за неорганизованного взаимодействия двух указанных выше типов потоков воды между собой, сопровождающегося диссипацией энергии общего направленного течения.

Задача организации подачи воды в засопловую зону головки при одновременном исключении столкновения и взаимного торможения направленных потоков за соплом, характерного для симметричной системы охлаждения, наиболее просто решается при организации несимметричного движения охладителя в указанной зоне. Так, авторами [4] было предложено техническое решение, в котором за счет установки на нижней тарелке головки возле каждого сопла, асимметрично относительно оси, проходящей через центры наконечника и сопла, направляющей лопасти, с формой полукольца, имеющего асимметричный вырез на нижнем торце, обеспечивается асимметричное течение охлаждающей воды в засопловой зоне. Как показало моделирование (см. рис. 3 г), при таком варианте установки лопасти, как и в техническом решении [3], длины передней (более удаленной от сопла) ножки (даже при увеличении ее размера до 20 % от длины лопасти [4]) недостаточно для разворота потока воды и организации его вращательного движения вокруг сопла. Кроме того, часть потока воды перетекает через зазор вне засопловой зоны. Охлаждение последней обеспечивается за счет перенаправления верхних слоев потока поступающей воды телом лопасти в область за соплом и перетока их в зазор между лопастью и нижней тарелкой головки. Застойная зона практически исчезает, а минимальная скорость воды непосредственно за соплом увеличивается до ~ 3 м/с. Приближение задней ножки к

соплу (особенно при их касании [4]) приводит к ухудшению его обтекания на рассматриваемом участке и способствует перемещению зоны неорганизованного вихревого течения за задней ножкой лопасти к соплу.

Учитывая указанные недостатки приведенных выше систем охлаждения фурменных наконечников, с целью улучшения организации течения воды в засопловых зонах, было предложено техническое решение [7], заключающееся в асимметричной установке на нижней тарелке головки возле каждого сопла направляющей лопасти без выреза, с профилем крыла с острой задней кромкой (см. рис. 4 а, б). Это позволяет осуществить подачу охлаждающей воды в засопловую зону в виде мощного организованного потока с одной стороны сопла (сбоку) практически без образования дополнительных вихревых зон за лопастью.

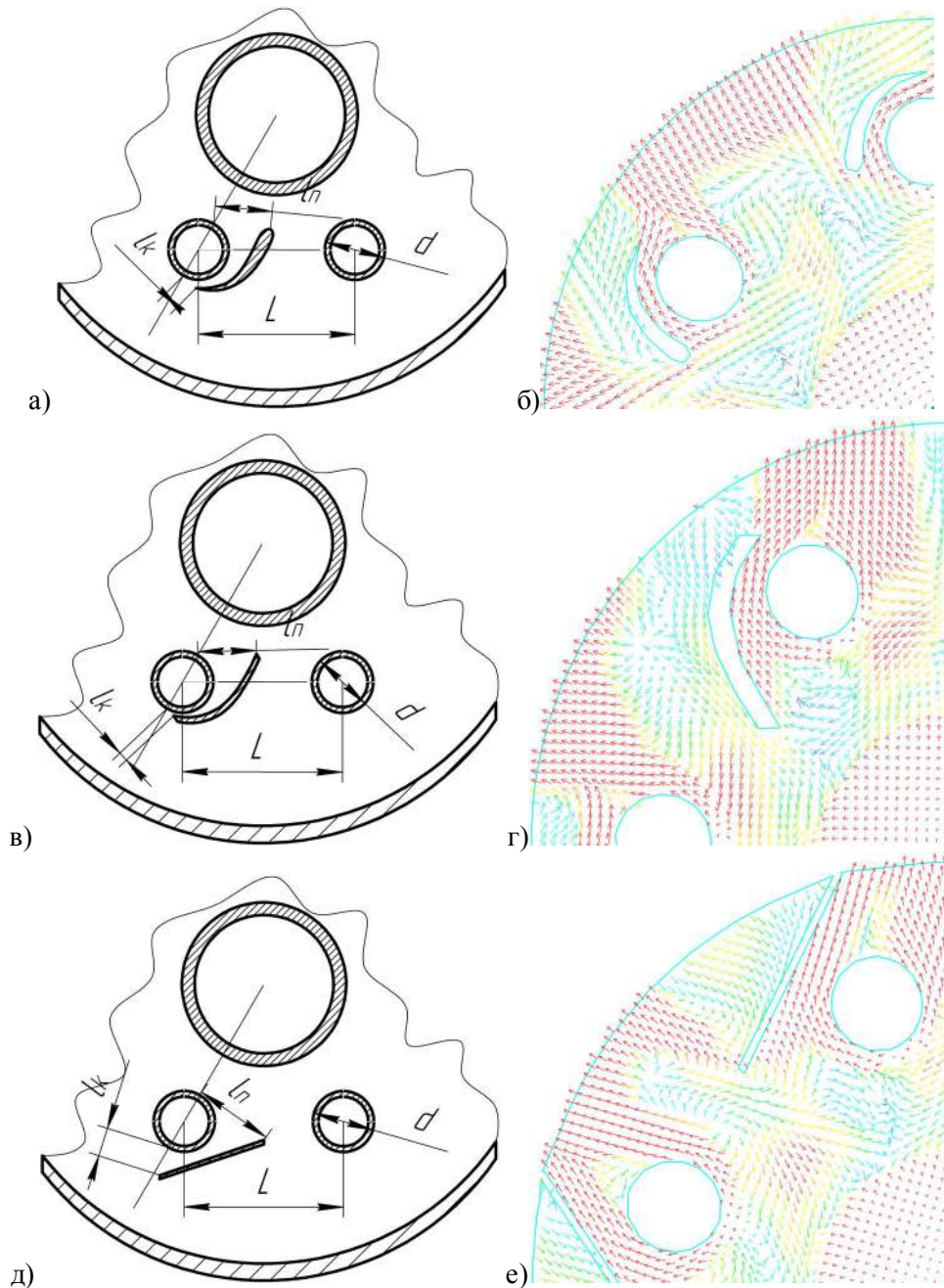


Рис. 4 – Схематическое изображение установки направляющих лопастей в фурменном наконечнике с центральным подводом воды и результаты численного моделирования гидродинамики течения охладителя в нем при форме лопастей: а), б) – крыловидной с острой задней кромкой; в), г) – вогнутой в сторону сопла; д), е) – плоской

С целью упрощения изготовления направляющей лопасти (лопатки) ее можно изготовить выгнутой (в сторону сопла) или даже плоской формы (рис. 4 в и 4 д), однако, несмотря на значительное уменьшение размеров или полное устранение засопловой вихревой застойной зоны охладителя, это приведет к неизбежному образованию дополнительных вихревых зон за лопаткой (см. рис. 4 г и 4 е).

При высоте лопасти менее 3 - 5 мм набегающий на нее поток воды практически не меняет своего направления - происходит перетекание его через лопасть, что не позволяет организовать эффективное охлаждение нижней части головки в засопловых зонах. Учитывая, что увеличение высоты лопасти  $\delta_l$  приводит к росту потерь давления воды в наконечнике, величина  $\delta_l$  для каждой конкретной конструкции фурменного наконечника должна быть минимально необходимой.

На качество охлаждения засопловых зон существенное влияние оказывает не только форма установленной возле сопла направляющей лопасти (профиль, наличие вырезов и т. п.), но и расположение их относительно друг друга. Так, для конструкции [7] оптимальные значения расстояний между ближней к центру наконечника точкой сопла, расположенной на оси, проходящей через центры наконечника и сопла, и ближайшей к ней крайней точкой лопатки ( $l_N$ ) и между дальней от центра наконечника точкой сопла, расположенной на указанной оси, и ближайшей к ней крайней точкой лопатки ( $l_K$ ), находятся соответственно в диапазонах:  $(0,6 \div 0,8) \cdot (L - d)$  и  $(0,15 \div 0,25) \cdot d$ , где  $L$  - расстояние между центрами двух соседних сопел,  $d$  - наружный диаметр сопла. При этом обеспечивается подача охлаждающей воды в засопловую зону в виде мощного организованного потока, который препятствует образованию вихревого течения и застойной зоны охладителя (за соплом), без ухудшения охлаждения сопла со стороны, противоположной от установленной лопасти.

При разработке конструкций продувочных фурм с центральным подводом кислорода (и отдельно расположенными соплами или сопловыми блоками) необходимо обеспечить качественное охлаждение наиболее теплонапряженного места фурмы - центральной межсопловой области наконечника.

В фурмах 130 - 180 т конвертеров (с диаметром наружной трубы 219 мм) для этого наиболее просто и достаточно эффективно может быть использована асимметричная система охлаждения, в которой, за счет искусственного создания неравномерности гидравлического сопротивления по периметру проходного сечения на входном или/и выходном участках наконечника, обеспечивается направленный асимметричный переток части поступающей воды через центральную область головки вдоль ее нижней тарелки [8]. При этом определенная часть воды перетекает из подводящего тракта в отводящий непосредственно под нижним торцом разделительной трубы в наконечнике, что, с учетом малого объема засоплового пространства, практически полностью устраняет образование застойных зон охладителя в нем.

В фурмах 250 - 400 т конвертеров (с диаметром наружной трубы 426 мм) системы асимметричного охлаждения могут оказаться малоэффективными из-за перетока чрезмерного количества охлаждающей воды под промежуточной трубой из подводящего в отводящий тракт фурмы, минуя центральную часть головки. Для таких фурм наиболее рационально применение системы охлаждения, основанной на использовании разделителей (распределителей, направляющих вставок) воды различных типов [9 и др.]. При этом использование разделителя позволяет подать основной поток воды в центральную межсопловую область наконечника (см. рис. 5), а общий водяной тракт в нем можно условно разделить на два, с формой полутора, канала для подвода ( $\kappa$ ) и отвода (от центра наконечника) охладителя.

Во внутреннем пространстве головок такого вида, как правило, формируются вихревые застойные зоны воды трех типов, располагающиеся: в межсопловом объеме под верхней тарелкой и вблизи центра нижней тарелки, а также вблизи последней за каждым соплом по ходу движения охладителя.

Нижняя центральная застойная зона может быть значительно уменьшена или полностью устранена за счет установки в головке центрального сопла (с профилированной наружной поверхностью) или выполнения нижней тарелки с вогнутой центральной частью, а верхняя - за счет установки центрального сопла или специальной профилированной центральной вставки (на верхней тарелке). Для разрушения вихревых застойных зон и улучшения охлаждения засопловых участков головки фурмы с центральным подводом кислорода авторы [4] предлагают

возле каждого из сопел асимметрично устанавливаются направляющие полукольцевые лопасти, аналогично, как и в наконечниках с центральным подводом воды. Однако, это приведет к усложнению изготовления фурменных головок и существенному увеличению потерь давления охладителя в них.

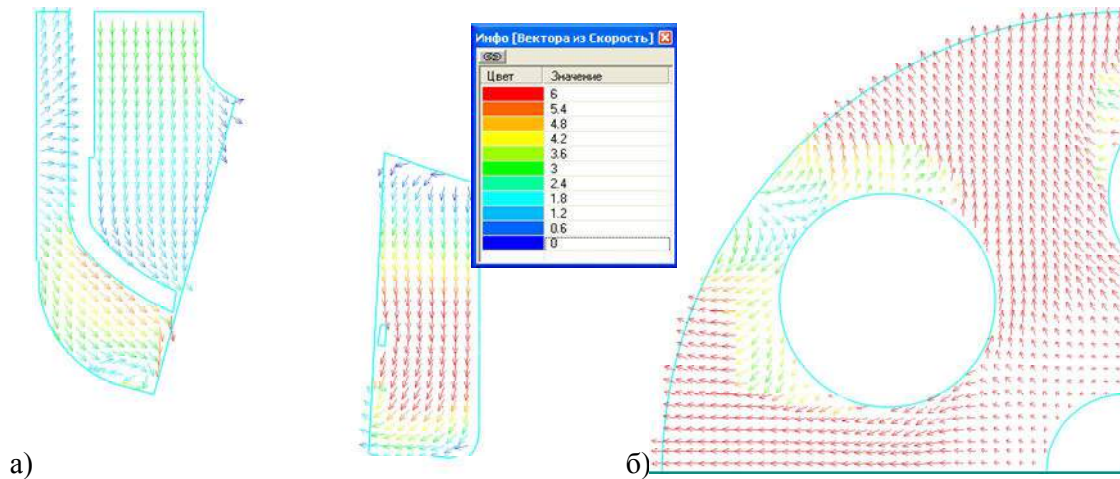


Рис. 5 – Векторное поле скоростей течения охладителя в фурменном наконечнике с центральным подводом кислорода, пятью основными и центральным соплами и разделителем воды пластинчатого типа: а) – вертикальное сечение; б) – горизонтальное сечение (50 мм от нижней точки внутренней поверхности нижней тарелки)

Разрушение засопловых застойных зон в наконечниках такого вида целесообразно реализовывать за счет организации перетока охлаждающей воды из подводящего канала в отводящий через специальные отверстия (каналы), выполненные в разделителе непосредственно над местами возможного образования вихревых застойных зон охладителя.

В соответствии с техническим решением [5], в наконечнике фурмы на расположенных радиально от сопел торцевой и цилиндрической частях разделителя выполнены отверстия для перетока охлаждающей воды, с их суммарной площадью, равной площади центрального отверстия разделителя. Таким образом, половина (по мнению авторов [5], а фактически, с учетом гидравлических сопротивлений отдельных участков водяного тракта головки, - меньшая часть) охладителя подается в центральную межсопловую область наконечника, а остальная его часть перетекает через отверстия в разделителе в засопловое пространство. Так как возле каждого сопла на торцевой части разделителя выполнено большое количество отверстий, то мощности отдельных перетекающих струек воды не достаточно для эффективного разрушения засопловых застойных зон. Кроме того, значительная часть воды, которая перетекает через отверстия в цилиндрической части разделителя, практически не участвует в охлаждении наиболее теплонапряженных мест фурменного наконечника.

Предложена система охлаждения головки, в которой возле каждого сопла в разделителе воды выполнено, по крайней мере, одно (но не более трех) отверстие, так что суммарная площадь проходного сечения этих отверстий равна 0,20-0,35 площади сечения для прохода воды в наконечнике (суммарной площади проходного сечения центрального и присопловых отверстий в разделителе). При этом присопловое отверстие возле каждого сопла образуется внутренней поверхностью этого сопла и вырезом в разделителе с формой эллипса или круга, или выполнено с центром на радиальной линии, что проходит через оси сопла и головки, на определенном расстоянии от сопла. Для упрощения изготовления указанные отверстия в разделителе выполняются вместе (заодно) с отверстиями под сопла (в головках сборной конструкции), с формой полукруга, соответствующей форме обычно образуемой засопловой застойной зоны. Общий поток подаваемой в наконечник воды в подводящем канале возле каждого сопла разделяется на два: первый (основной) проходит через центральное межсопловое пространство головки, а второй перетекает через отверстие в разделителе в отводящий канал, где эффективно разрушает вихревые застойные зоны воды, образуемые при обтекании сопла основным потоком, улучшает охлаждение нижней тарелки, выходных участков сопел и их сварных швов в засопловой зоне



(см. рис. 6).

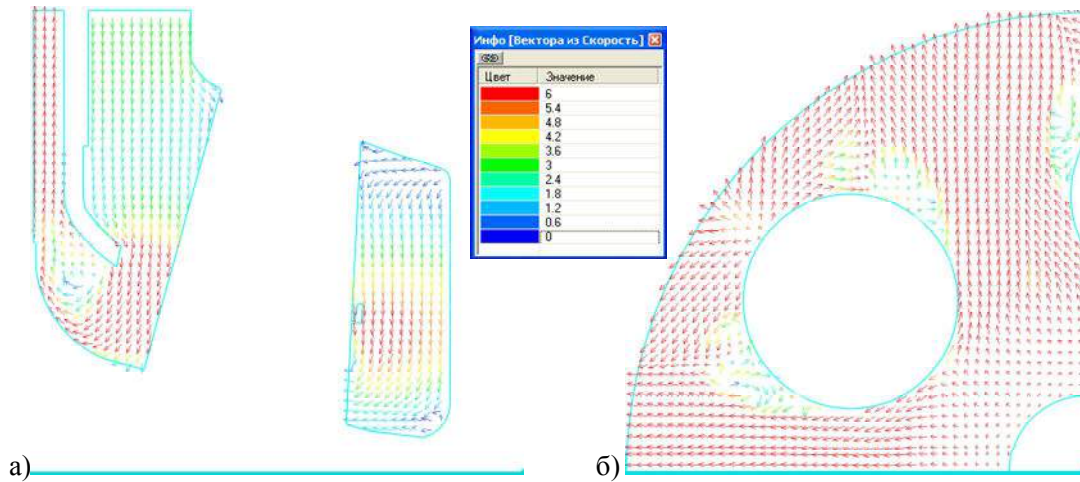


Рис. 6 – Результаты численного моделирования гидродинамики течения охладителя в наконечнике с центральным подводом кислорода, пятью основными и центральным соплами и разделителем воды пластинчатого типа с присопловыми отверстиями для перетока воды полукруглой формы : а) – вертикальное сечение; б) – горизонтальное сечение

При этом также обеспечивается и существенное снижение потерь давления воды в наконечнике, так как ее часть перетекает через отверстия в разделителе, минуя центральное межсопловое пространство с малым проходным сечением.

### Выводы

1. Показаны основные типы вихревых низкоскоростных (застойных) зон охлаждающей воды, образующихся в фурменных наконечниках с центральным подводом воды и центральным подводом кислорода, и предложены способы их уменьшения и ликвидации.
2. Подтверждено, что для наконечников с центральным подводом воды за счет установки возле сопел направляющих лопастей можно достигнуть улучшения охлаждения засопловых зон.
3. Организованная подача воды в засопловую область головки с использованием направляющей лопасти, с целью эффективного разрушения вихревой застойной зоны, принципиально может быть реализована по двум основным вариантам: перенаправление нижнего слоя поступающего потока охладителя передней (по ходу воды) частью лопасти (за сопло сбоку) и перенаправление его верхнего слоя лопастью в зазор между ней и нижней тарелкой (за сопло сверху). При этом второй вариант более рационален для симметричных систем охлаждения засопловых зон фурменных головок, а первый – для асимметричных. Реализация смешанного варианта организации подачи охладителя в засопловую зону является нерациональной из-за неорганизованного взаимодействия двух указанных выше типов потоков воды между собой, сопровождающегося диссипацией энергии общего направленного течения.
4. Для обеспечения надежного охлаждения засопловых зон в наконечниках с центральным подводом воды, с целью исключения столкновения и взаимного торможения направленных потоков за соплом, целесообразно использовать системы охлаждения с организацией несимметричной подачи воды в засопловые зоны.
5. Показаны основные недостатки систем охлаждения наконечников кислородных фурм с центральным подводом воды, представленных в [2-4]. Предложена новая система охлаждения, позволяющая осуществить подачу охлаждающей воды в засопловую зону в виде мощного организованного потока с одной стороны сопла (сбоку), практически без образования дополнительных вихревых зон за лопастью и ухудшения охлаждения сопла со стороны, противоположной от установленной лопасти.
6. Для наконечников фурм с центральным подводом кислорода охлаждение засопловых зон наиболее рационально реализовывать за счет организации перетока охлаждающей воды из

подводящего канала в отводящий через специальные отверстия (каналы), выполненные в разделителе непосредственно над местами возможного образования вихревых застойных зон охладителя.

- Показаны основные недостатки системы охлаждения наконечников кислородных фурм с центральным подводом кислорода, представленной в [5]. Предложена новое техническое решение, позволяющее обеспечить одновременно: надежное охлаждение наиболее теплонапряженной центральной части головки, ликвидацию засопловых застойных зон и минимальные потери давления воды в наконечнике фурмы.

#### Список использованных источников:

- Сущенко А.В. Анализ эффективности систем охлаждения наконечников фурм кислородных конвертеров. Сообщение 1, 2 / А.В. Сущенко, А.П. Балаба // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 1. – С. 6-9; 2009. – № 3 – С. 9-12.
- Пантейков С.П. Усовершенствование системы охлаждения сварных конструкций фурменных гловков для 250-тонных конвертеров. / С.П. Пантейков, А.Г. Чернятевич, Л.М. Учитель та ін. // Новости науки Приднепровья. – 2008. – № 1-2. – С. 54-59.
- Пат. 40428 А України, МПК С21С 5/48. Фурмена головка з симетричним охолодженням сопел / С.П. Пантейков, А.Г. Чернятевич, Л.М. Учитель та ін.; Дніпродзержинський ДТУ. – № 2001010547; заявл. 25.01.2001; опубл. 16.07.2001, бюл. № 6.
- Пат. 46328 А України, МПК С21С 5/48. Фурмена головка з асиметричним охолодженням сопел / С.П. Пантейков, Л.М. Учитель, В.В. Івко та ін.; Дніпродзержинський ДТУ. – № 2001064329; заявл 21.06.2001; опубл. 15.05.2002, бюл. № 5.
- А. с. СССР № 870445, МКИ С 21 С 5/48. Многосопловой наконечник фурмы. / Е.В. Баршак, О.А. Глемба–Овидский, А.К. Олексеви́ч и др.; Особое конструкторское бюро Института высоких температур. – №2661264/22-02; заявл. 06.09.78; опубл. 07.10.81. бюл. № 37.
- Сущенко А.В. Применение программного комплекса FlowVision для решения задач оптимизации систем охлаждения дутьевых устройств металлургических агрегатов / А.В. Сущенко, А.П. Балаба // Инженерные системы. – 2009. – М. : РУДН, 2009. – Том 1. – С. 3-7.
- Пат. 46563 А України, МПК С21С 5/48. Фурмена головка з асиметричним охолодженням сопел / А.В. Сущенко, О.П. Балаба, А.С. Гриценко; ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» заявл. 17.07.09; опубл. 25.12.09, бюл. № 24.
- Сущенко А.В. Организация несимметричного течения воды в системах охлаждения наконечников кислородных фурм. / А.В. Сущенко, А.С. Гриценко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (23). – С. 151-158.
- Якушев А.М. Справочник конвертерщика. – Челябинск : Металлургия, 1990. – 448 с.

#### Bibliography:

- Sushchenko A.V. Analysis of efficiency of cooling systems of tips of top blown lances. Message 1, 2 / A.V. Sushchenko, A.P. Balaba, // News of Higher educational establishments. Black metallurgy. – 2009. – № 1 – P. 6-9; № 3. – P. 9-12. (Rus.)
- Panteikov S.P. Tips welded constructions of top blown lances for 250-t converters cooling system development. / S.P. Panteikov, A.G. Chernyatevich, L.M. Uchitel and others // News of science Pridneproviya. – 2008. – № 1-2. – P. 54-59. (Rus.)
- Patent 40428 A of Ukraine, IPC C21C 5/48. Tip of furnace with symmetric cooling of nozzles / S.P. Panteikov, A.G. Chernyatevich, L.M. Uchitel and others; Dniprodzerjinsky. – № 2001010547; declared 25.01.2001; published 16.07.2001, bulletin № 6. (Rus.)
- Patent 46328 A of Ukraine, IPC C21C 5/48. Tip of furnace with asymmetric cooling of nozzles / S.P. Panteikov, L.M. Uchitel, V.V. Ivko and others; Dniprodzerjinsky. – № 2001064329; declared 21.06.2001; published 15.05.2002, bulletin № 5. (Rus.)
- Multi-nozzles tip of lance. С. С. SSSR № 870445, IPC C21C 5/48 / E.V. Barshak, O.A. Glemba. – Ovidsky, A.K. Oleksevich and others; Special designer bureau of Institute of higher temperatures. – №2661264/22-02; declared 06.09.78; published 07.10.81. bulletin № 37. (Rus.)
- Sushchenko A.V. Using program complex FlowVision to decision tasks of optimization blow devices of metallurgical aggregates cooling systems. / A.V. Sushchenko, A.P. Balaba // Engineer systems. – 2009. – М. : RUDN, 2009. – Т. 1. – P. 3-7. (Rus.)

7. Patent 46563 A of Ukraine, IPC C21C 5/48. Tip of furnace with asymmetric cooling of nozzles / A.V. Sushchenko, A.P. Balaba, A.S. Gritchenko; DVNZ “Priazovski State Technical University”; declared 17.07.2009; published 25.12.09, bulletin № 24. (Rus.)
8. Sushchenko A.V. Organization asymmetric flow of water in oxygen lance tip cooling system. / A.V. Sushchenko, A.S. Gritchenko // Announcer of the Priazovskogo state technical university. – 2011. – № 2 (23). – P. 151-158. (Rus.)
9. Yakushev A.M. Spravochnik Konvertershika. – Chelyabinsk : Metallurgy, 1990. – 448 p. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 14.11.2012