

УДК 631.3.02

UDC 631.3.02

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В  
АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ  
ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВОЙ  
ГРАДИРНИ С ДИСКОВЫМ  
РАСПЫЛИТЕЛЕМ**

**IMPROVING WATER COOLING EFFICIENCY  
IN THE AGRICULTURAL INDUSTRY  
THROUGH THE USE OF A VORTEX COOLING  
TOWER WITH A DISK SPRAYER**

Бадретдинова Гузель Рамилевна  
Ассистент  
SPIN – код автора: 8132-6325  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Badretdinova Guzel Ramilevna  
Assistant lecturer  
RSCI SPIN-code: 8132-6325  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Якимов Николай Дмитриевич  
Д-р физ.-мат. наук, профессор  
SPIN – код автора: 2960-4372  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Yakimov Nikolay Dmitrievich  
Dr.Sci.Phys.-Math., Professor  
RSCI SPIN-code: 2960-4372  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Шамсутдинова Камилла Эдуардовна  
Студент  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Shamsutdinova Kamilla Eduardovna  
Student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Вопрос рационального использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе становится всё более значимым на фоне глобальных тенденций к интенсификации сельскохозяйственного производства. Настоящее исследование посвящено совершенствованию теплообменных аппаратов за счёт использования вихревых устройств с дисковым распылителем, позволяющих эффективно охлаждать воду при разных скоростях воздушного потока. Особенность предлагаемого подхода состоит в том, что распыление воды происходит с помощью нескольких дисков различного диаметра, что обеспечивает формирование капель разнообразных размеров. Благодаря такому полидисперсному распылу водяная взвесь равномерно распределяется в рабочей зоне, максимально используя объём вихревой камеры. Параллельно вращающиеся лопасти создают пониженное давление и формируют интенсивный газодинамический поток, который способствует повышению турбулентности и, следовательно, ускоряет процесс теплоотдачи. Численное моделирование в среде ANSYS Fluent продемонстрировало, что вихревое движение газа в сочетании с многодисковым распылением воды обеспечивает низкое гидравлическое

The issue of rational water resource utilization in the agricultural industry is becoming increasingly important against the backdrop of global trends toward intensifying agricultural production. This study focuses on enhancing heat exchange devices by utilizing vortex systems with a disk sprayer, which allows for efficient water cooling at different air flow rates. The key feature of the proposed approach is that water dispersion is achieved through multiple disks of varying diameters, ensuring the formation of droplets of different sizes. This polydisperse spraying enables uniform distribution of the water mist within the working zone, maximizing the effective use of the vortex chamber volume. Simultaneously, rotating blades generate a low-pressure region and create an intense gas-dynamic flow that enhances turbulence and, consequently, accelerates the heat transfer process. Numerical modeling in ANSYS Fluent demonstrated that vortex gas movement, combined with multi-disk water spraying, ensures low hydraulic resistance and improved aerodynamics. Analysis of velocity and pressure fields confirms the formation of optimal conditions for mass and heat transfer between water droplets and the air flow

сопротивление и улучшенную аэродинамику. Анализ полей скорости и давления подтверждает формирование оптимальных условий для массовой и тепловой передачи между водными каплями и воздушным потоком

Ключевые слова: ТЕПЛОВОЙ НАКОПИТЕЛЬ, ПОРОШОК ГРАФИТА, ТЕРМОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕПЛОЁМКОСТЬ, ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ, АГРОПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: VORTEX COOLING TOWER, DISK SPRAYER, AGRICULTURAL INDUSTRY, WATER COOLING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-206-034>

**Введение.** Эффективное использование водных ресурсов в агропромышленном комплексе играет исключительную роль в обеспечении стабильности сельскохозяйственного производства и сохранении экологического баланса. Многие технологические процессы, начиная от орошения посевных площадей и заканчивая различными видами переработки сырья, требуют регулярного поддержания необходимого температурного режима воды. Наряду с общей тенденцией к наращиванию объёмов производства в сельском хозяйстве возрастает и потребность в надёжных и экономичных способах охлаждения оборотной воды. Это особенно важно в условиях, когда глобальные изменения климата приводят к увеличению количества жарких дней в году, а также к более частым засухам, негативно сказывающимся на водном балансе.

В условиях постоянного роста затрат на электроэнергию и ужесточения экологических норм, предприятия аграрного сектора стремятся к оптимизации производственных процессов и снижению расхода ресурсов. На первый план выходит задача разработки инновационных технических решений, которые позволяли бы не только эффективно охладить воду, но и сохранять высокий уровень производительности при минимизации потерь. Одна из важнейших тенденций последних лет – внедрение в технологические процессы

<http://ej.kubagro.ru/2025/02/pdf/34.pdf>

энергоёмких, но при этом экономически оправданных устройств, способных работать в разных режимах загрузки.

Особенный интерес вызывают аппараты, основанные на принципах вихревого движения среды, способствующего интенсификации теплообмена и снижению гидравлического сопротивления. Использование вихревой циркуляции даёт возможность обрабатывать потоки в узко направленных объёмах, обеспечивая стабильность и равномерность охлаждения. Благодаря этому достигается более эффективное взаимодействие воздушного потока и водяных капель, что повышает общую результативность охлаждения и сокращает энергозатраты. Кроме того, внедрение устройств подобного типа положительно сказывается на экологии, так как уменьшается необходимость в больших площадях для размещения традиционных открытых систем охлаждения.

В агропромышленной сфере применение вихревых аппаратов может значительно улучшить рентабельность производства и обеспечить более щадящее использование водных ресурсов. Именно поэтому исследование и разработка новых конструкций вихревых градирен представляются актуальным и перспективным направлением, способным удовлетворить растущие потребности отрасли.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** Мировая практика показывает, что в сфере агропромышленного производства широко применяются различные методы охлаждения воды, начиная от простых душирующих устройств и заканчивая более сложными градирнями с механической тягой. Становится очевидным, что при выборе подходящей технологии важно учитывать как климатические условия, так и особенности производственного процесса. Высокие температуры, наблюдаемые в ряде регионов, ужесточают требования к производительности систем охлаждения, а ограниченные водные ресурсы

делают актуальным поиск решений с пониженным расходом и минимальными потерями.

Исследования в области интенсификации теплообменных процессов демонстрируют перспективность использования вихревых аппаратов, способных формировать сильное турбулентное движение, что способствует ускоренному смешению рабочей среды и более эффективному переносу тепла. Однако в традиционных конфигурациях таких устройств нередко использовались конические форсунки, которые имеют некоторые недостатки при переменных расходах воздуха и высоких требованиях к точности распределения капель. Кроме того, разрушение водяной струи в классических распылителях зачастую сопровождается дополнительными энергетическими потерями, связанными с расходом кинетической энергии воздуха на формирование капель.

Современные исследования показывают, что дисковые распылители могут быть более эффективным решением, так как формирование капель на вращающихся дисках происходит при меньшем участии воздушного потока. Это позволяет снизить гидравлическое сопротивление устройства и обеспечить формирование широкого диапазона размеров капель. Полидисперсный распыл даёт равномерное заполнение рабочей зоны, минимизируя вероятность застойных зон и повышая общий коэффициент теплопередачи.

На этой основе было разработано новое устройство вихревого типа, оснащённое многоуровневым дисковым распылителем (рис. 1). Его конструкция включает расположенные на общем валу диски разного диаметра, которые при вращении формируют капли воды различной крупности. Верхний патрубок служит для подвода воздушного потока, проходящего через тангенциально-лопаточный завихритель, а лопасти, размещённые в патрубке выхода воздуха, формируют пониженное давление и повышают интенсивность втягивания воздуха в рабочую зону.

Далее капли двигаются по траекториям, обусловленным сочетанием центробежных и гравитационных сил, а охлаждённая вода стекает через специальные отверстия и выводится наружу через соответствующий патрубок. Благодаря такому устройству удаётся достичь стабильного охлаждения при разных скоростях воздуха и снизить общий уровень гидравлических потерь [1].

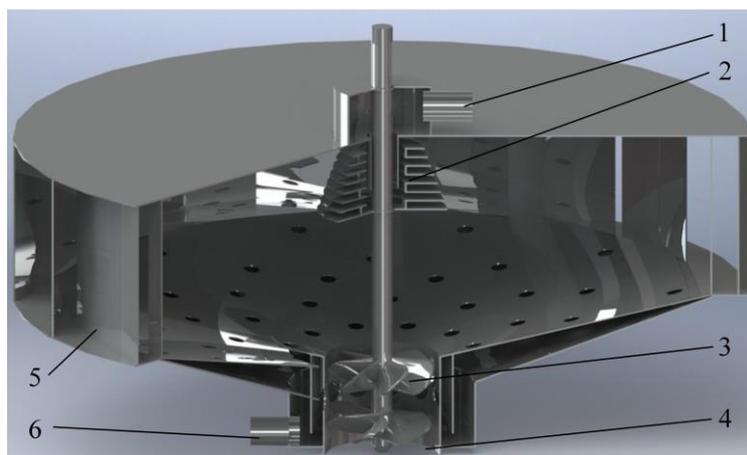


Рисунок 1 – Внешний вид вихревой камеры с дисковым распылителем [1]: 1 – патрубок для входа оборотной воды; 2 – дисковый распылитель; 3 – лопасти; 4 – патрубок для выхода воздуха; 5 – тангенциально-лопаточный завихритель; 6 – патрубок для отвода охлажденной воды

**Цель исследований.** Цель настоящего исследования – провести вычислительный анализ аэрогидродинамических характеристик разработанного струйно-плёночного контактного устройства

**Материалы и методы исследований.** Для анализа газодинамических процессов в модернизированной вихревой камере с дисковым распылителем была сформирована трёхмерная расчётная модель в программном комплексе ANSYS Fluent. В интересах адекватного описания реальных процессов учитывались геометрические и конструктивные особенности экспериментального образца. Радиус рабочей зоны модели принят равным 0,2 м, диаметр выходного патрубка – 0,07 м (при радиусе 0,035 м), а патрубок с лопастями имеет высоту 0,1 м. Число

лопастей выбрано равным 24, при этом угол наклона образующей днища относительно центральной оси завихрителя установлен  $20^\circ$ . Высота распылителя составляет 0,05 м, а набор дисков включает восемь штук, причём минимальный диаметр диска – 0,04 м, а максимальный – 0,05 м. Параметр «степень крутки» в аппарате взят равным единице, а в качестве материала стенок камеры использован условно гладкий металл с шероховатостью около 0,5 мкм.

Для более точного моделирования среды использовали опцию сжимаемого газа (воздуха), что позволяет учесть реальную динамику давления и температуры в объёме. Входным граничным условием служит атмосферное давление 101325 Па, при температуре 293 К. Среднерасходная скорость воздушного потока на выходе принята 10 м/с, что задаёт соответствующую интенсивность циркуляции внутри аппарата. При решении уравнений турбулентности применялась модель, наиболее подходящая для расчётов вихревых структур в аппаратах данного типа, учитывающая особенности формирования закрученных потоков.

Расчётная сетка строилась с уплотнением в областях повышенной градиентности переменных (около лопастей, дисков распылителя и в зоне завихрителя). Численные эксперименты проводились в стационарном режиме с уточнением сходимости решений по изменению остатков. Совокупный анализ полей скоростей и давления был направлен на оценку распределения воздушного потока в рабочей зоне, а также на определение основных характеристик вихревой циркуляции и связанных с ней аэродинамических сопротивлений.

**Результаты исследований.** При анализе карт распределения абсолютной скорости газового потока, представленных в виде векторных диаграмм (рис. 2), выявлено формирование устойчивого циркуляционного движения воздуха внутри вихревой камеры. При входе потока через тангенциально-лопаточный завихритель наблюдается интенсивное

вращение воздушной среды по спиральной траектории с постепенным смещением вниз к конусу днища. Такая геометрия потока обеспечивает равномерное заполнение камеры и гарантирует эффективный перенос тепла между воздушными струями и водяными каплями, выбрасываемыми с дисков распылителя.

Численное моделирование показало, что максимальные скорости фиксируются в центральной зоне аппарата, где концентрируются основные вихревые завихрения и присутствуют лопасти на выходном патрубке. При этом полидисперсный характер капельного распыла, формируемый многодисковой конструкцией, способствует равномерному охвату всего объёма, что устраняет «мёртвые» зоны и улучшает суммарный теплообмен. Сравнение полученных результатов с теоретическими предположениями подтвердило, что более крупные капли, создаваемые верхними дисками, сохраняют достаточную инерцию для быстрого взаимодействия с воздушным потоком, тогда как мелкие капли формируют тонкодисперсную фазу, расширяющую контактную поверхность.

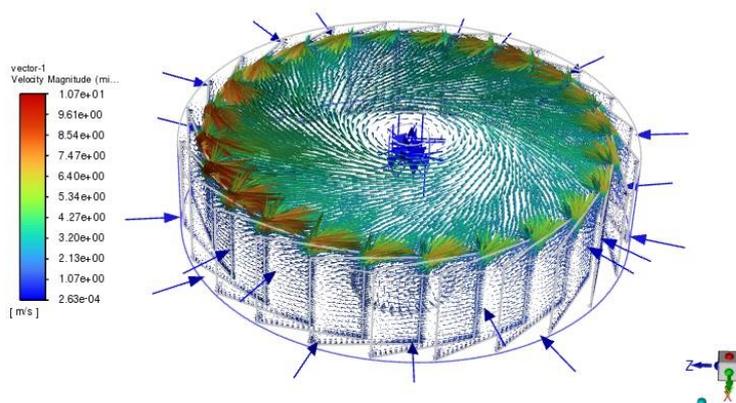


Рисунок 2 – Распределение абсолютной скорости газового потока в виде цветowych векторов

Таким образом, моделирование подтвердило гипотезу об эффективности вихревой схемы охлаждения воды с использованием дискового распылителя. Установлено, что созданная конфигурация

обладает сниженным аэродинамическим сопротивлением и способна функционировать в широком диапазоне скоростей приточного воздуха, обеспечивая устойчивую тягу и высокую интенсивность теплоотдачи.

**Выводы.** 1. Проведённое численное исследование подтвердило целесообразность использования вихревой камеры с дисковым распылителем в системах охлаждения воды агропромышленного комплекса. 2. За счёт полидисперсного распыла, создаваемого совокупностью вращающихся дисков, удалось добиться равномерного заполнения рабочего объёма и повышения теплообменных характеристик.

#### **Библиографический список**

1. Дмитриева, О. С. Вихревая камера с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий / О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев, А. Н. Николаев // Экология и промышленность России. – 2013. – № 6. – С. 16-18.

#### **References**

1. Dmitrieva, O. S. Vihrevaja kamera s diskovym raspylitem dlja ohlazhdenija oborotnoj vody promyshlennyh predpriyatij / O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2013. – № 6. – S. 16-18.