

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ С ВИХРЕВОЙ ТРУБОЙ

А. Ю. Орлов, Ю. А. Суворова

*Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; orlov.andrey1983@gmail.ru*

**Ключевые слова и фразы:** вихревой эффект Ранка-Хилша; вихревая труба; горячий поток; теплотрансформация; холодный поток; энергосбережение.

**Аннотация:** Рассмотрены возможности применения вихревых труб Ранка–Хилша в химических технологиях, прежде всего – в сушильных процессах, с целью энергосбережения, при высоких температурах и производительности. Показана необходимость экспериментальной проверки для всех конкретных случаев.

---

Ограниченность запасов топливно-энергетических ресурсов вызвала необходимость проведения энергосберегающей политики во всех странах мира. Проблема снижения энергозатрат особенно актуальна для российской экономики, поскольку в России энергоёмкость промышленного производства и социальных услуг оказывается выше общемировых показателей, что приводит к увеличению себестоимости продукции и снижению ее конкурентоспособности [1 – 3].

Среди множества процессов химической и смежных отраслей промышленности сушка материалов, полупродуктов или готовых изделий занимает важное место. Для сушки дисперсных материалов в промышленности наиболее часто применяются сушилки с конвективным подводом теплоты. Однако конвективные сушилки, используемые в промышленности, имеют низкий коэффициент полезного действия по теплоте (до 60 %), так как паровоздушная смесь, выходящая из рабочей зоны сушильного оборудования, имеет высокую температуру и влагосодержание. В связи с этим актуальными являются задачи разработки технологических схем и вариантов устройств для использования теплоты уходящей паровоздушной смеси в технологических целях [1, 4].

Важнейшим направлением энергосберегающей политики является создание комплексных установок, схемы и устройство которых обеспечивают рациональное использование потенциала отходящих потоков, образующихся на различных стадиях процесса, для осуществления последующих стадий [4 – 7].

Из анализа тепловых балансов конвективных сушильных установок следует, что наибольшие потери теплоты обуславливаются отходящим сушильным агентом и потерями теплоты в окружающую среду. Таким образом, становятся очевидными принципиальные пути повышения тепловой экономичности конвективных сушильных установок: снижение потерь теплоты с уходящим сушильным агентом (или рациональное использование этого вида вторичных энергетических ресурсов) и в окружающую среду конструкциями установок. Очевидно, что перспективным направлением в экономии топлива и энергии при обезвоживании влажных материалов в конвективных сушильных установках является не рациональное использование теплоты уходящего сушильного агента в различного рода

утилизационных установках, а всемерное сокращение этого вида потерь. Последнее, в первую очередь, достигается за счет рециркуляции части отработавшего сушильного агента, что сокращает расходы уходящего сушильного агента в десятки раз. Однако рециркуляция приводит к повышению влагосодержания сушильного агента, что, как будет показано ниже, с одной стороны, способствует повышению тепловой экономичности, а с другой – уменьшает движущие силы процесса массообмена и, следовательно, может вызывать увеличение продолжительности сушки или габаритов установки [1, 4 – 7].

Существуют две возможности организации рециркуляции в установках, использующих в качестве сушильного агента воздух [1], когда часть отработавшего воздуха, возвращается в зону:

- 1) перед подогревателем так, что весь сушильный агент (свежий и отработавший воздух) подогревается до температуры на входе в сушилку;
- 2) после подогревателя, смешивается с нагретым свежим воздухом и далее подается непосредственно на сушку.

Наиболее распространена первая схема, хотя она и требует подогрева всего сушильного агента, но до более низких температур, чем во второй схеме.

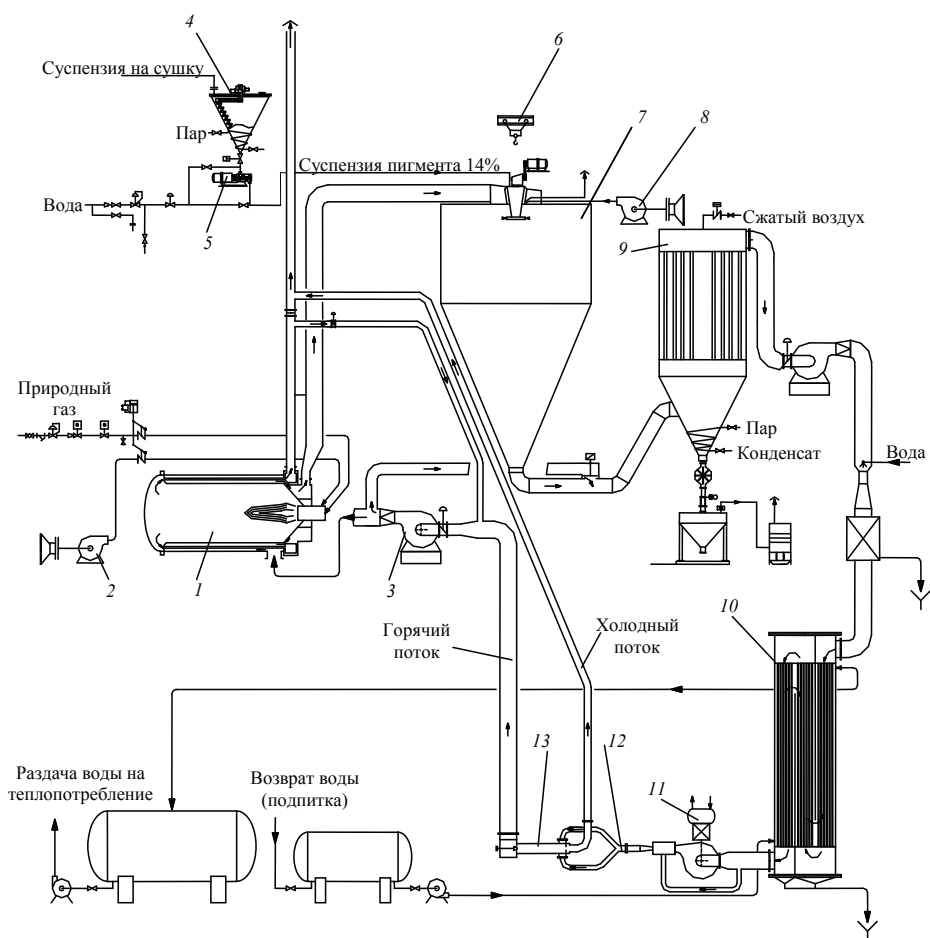
Одним из возможных типов энергосбережения является термотрансформация (теплотрансформация) с использованием вихревой трубы Ранка–Хилша (ВТ) [8 – 10]. Основным физический феномен вихревого эффекта Ранка заключается в температурной стратификации сплошной среды – разделении исходного закрученного потока воздуха (газа, пара, жидкости) с равномерной по сечению начальной температурой на входе на два выходящих потока: «горячий» периферийный и «холодный» осевой.

Основное внимание для химической промышленности сконцентрировано на следующем: 1) перспективах использования «горячего» потока из ВТ, так как в настоящее время чаще изучаются возможности применения «холодного» потока в технике сублимационной сушки; 2) повышении температуры воздуха до 120...150 °С и выше, так как в настоящее время температуры обычно не превышают 100 °С; 3) возможности принципиального увеличения производительности при одновременном снижении требуемого давления воздуха (газа) на входе; 4) обеспечении достаточных скоростей воздуха в рабочих каналах и камерах сушилок с размерами 300...500 мм и выше; 5) обеспечении требуемых напоров выпускаемыми вентиляторами (дымососами), а не компрессорами; 6) разработке и применении экономичных воздушных инжекторов для питания ВТ, подсасывающей циркулирующий воздух (также возможно вихревого типа).

По результатам проведенных исследований и на основании сопоставительного анализа энергоресурсосберегающих схем была разработана технологическая схема высокотемпературной сушки пигментов с ВТ (рисунок).

Исходной является схема с распылительной сушилкой ( $\varnothing 500$ ,  $H = 9000$  мм, температура на входе 230 °С), газовой топкой, замкнутой циркуляцией продуктов сгорания (расход 10 000  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и колонной для промывки газов и удаления из них избыточных паров влаги. При этом стоки с промывки составляют 50  $\text{м}^3/\text{ч}$ . При сильном загрязнении стоков их требуется закачивать в подземные горизонты, с двух производств всего около 1 млн  $\text{м}^3/\text{год}$  [11, 12].

Были поставлены следующие основные задачи энергосбережения, ресурсосбережения и улучшения экологии: снижение расходов воды, природного газа, уменьшение количества промышленных стоков, закачиваемых в подземные горизонты. Сложность объясняется тем, что в данном случае имеется одновременное сочетание: загрязненности, взрывоопасности, высоких температур и значительных расходов газов; трудности теплоутилизации низкотемпературного тепла



**Схема распылительной сушки пигментов  
с вихревой трубой и поверхностным пылеуловителем:**

- 1 – печь метановая, 2 – вентилятор подачи воздуха на горение; 3, 8 – вентилятор;  
4 – смеситель; 5 – насос питания атомызатора; 6 – электрод; 7 – сушильная камера;  
9 – рукавный фильтр; 10 – кондесатор-влагоотделитель; 11 – компрессор;  
12 – струйный компрессор; 13 – вихревая труба*

в цеховых условиях; высокого соотношения конъюнктурных цен на электроэнергию и на природный газ; необходимости применения при использовании парокompрессионных схем высокотемпературных компрессоров и хладагентов, а при использовании ВТ – экономичных способов предварительного сжатия газов для закрутки. Решение всех этих вопросов связано, прежде всего, с разработкой новых, надежных конструктивных решений и их экспериментальной проверкой.

Улучшение общих энергетических показателей возможно при использовании относительно низкопотенциального тепла (на уровне 60 – 70 и до 80 – 90 °С) для других технологических, хозяйственных и прочих потребностей цеха. Это вызвано тем, что тепло конденсации водяных паров, содержащихся в газах после топки и сушки, значительно больше теплосодержания газов. Поэтому в цикле циркуляции продуктов сгорания непосредственно в сушильной схеме возможно использование только до 20 – 25 % общего трансформируемого тепла.

В базовой схеме сушки в цехе утилизация тепла, выбрасываемого с охлаждающей водой и отходящими газами, не предусматривается. Это не соответствует

современному уровню и тенденциям развития энергосберегающего сушильного оборудования, однако, объясняется вышеупомянутыми объективными причинами и трудностями.

В модернизированной схеме для вихревого теплоутилизирующего разогрева возвращаемых газов используется ВТ, работающая на циркулирующем сушильном газе после двухступенчатой газоочистки; при этом закрученный высокоскоростной поток газа делится на холодный поток, направляемый на выброс, и на горячий разогретый поток газа, возвращаемый в цикл.

*Работа выполнена в рамках «Гранта для поддержки прикладных исследований молодых ученых 2013 года Тамбовской области» № 09-25/33 МУ-13.*

#### *Список литературы*

1. Данилов, О. Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О. Л. Данилов, Б. И. Леончик. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Рей, Д. Экономия энергии и промышленности : справ. пособие для инженерно-техн. работников : пер. с англ. / Д. Рей. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
3. Михайлов, В. В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности / В. В. Михайлов, Л. В. Гудков, А. В. Терещенко. – М. : Энергия, 1978. – 224 с.
4. Коновалов, В. И. Основные пути энергосбережения и оптимизации в тепло- и массообменных процессах и оборудовании / В. И. Коновалов, Н. Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 796 – 811.
5. О возможностях высокотемпературной сушки красителей и послеспиртовой барды с вихревой трубой / А. Ю. Орлов [и др.] // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). СЭТТ–2011 : тр. Четвертой междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 20 – 23 сент. 2011 г. / МГАУ им. В. П. Горячкина [и др.]. – М., 2011. – Т. 1. – С. 381 – 383.
6. Коновалов, В. И. Новые зарубежные исследования в области сушки и термовлажностной обработки материалов: результаты и тенденции / В. И. Коновалов, Н. Ц. Гатапова, Т. Кудра // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). СЭТТ–2008 : тр. Третьей междунар. науч.-практ. конф., 16 – 20 сент. 2008 г., Москва – Тамбов / Моск. гос. ун-т прикладной биотехнологии [и др.]. – Тамбов, 2008. – С. 31–32.
7. Коновалов, В. И. Сушка и другие технологические процессы с вихревой трубой Ранка–Хилша: возможности и экспериментальная техника / В. И. Коновалов, А. Ю. Орлов, Н. Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 803 – 825.
8. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара : Оптима, 1997. – 344 с.
9. Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляков, М. Н. Сергеев. – М. : Энергомаш, 2000. – 415 с.
10. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 320 с.
11. Совершенствование процессов и оборудования для сушки органических пигментов в осваиваемом производстве цеха № 15 с целью снижения расходов воды, стоков на закачку и экономии энергозатрат : отчет о НИР (этап 1 «Анализ и проработка схемных решений») / ООО «Инновационный центр высоких био- и химических технологий» ; ГОУ ВПО «ТГТУ» ; рук. Коновалов В. И., Гатапова Н. Ц. ; исполн.: Коновалов В. И., Гатапова Н. Ц. – Тамбов, 2004. – 40 с.

12. Орлов, А. Ю. Разработка и расчет сушки с вихревой трубой : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / А. Ю. Орлов. – Тамбов, 2012. – 16 с.

---

## Energy Saving in Vortex Tubes Drying Process

A. Yu. Orlov, Yu. A. Suvorova

*Department "Processes, Devices and Technosphere Safety",  
TSTU; orlov.andrey1983 @ gmail.ru*

**Key words and phrases:** cold flow; energy saving; heat transformation; hot flow; Rank-Hilsch vortex effect; vortex tube.

**Abstract:** The paper describes the possibility of application of the Rank-Hilsch vortex tubes in chemical technologies, primarily, in the drying process, with a view of energy saving under high temperature and performance. The necessity of experimental verification for each specific case has been proved.

---

## Energiesparen in den Prozessen des Trocknens mit dem Wirbelrohr

**Zusammenfassung:** Es sind die Möglichkeiten der Anwendung der Wirbelrohre von Rank-Hilsch in den chemischen Technologien, vor allem – in den Trockenprozessen mit der Ziel des Energiesparens, bei den hohen Temperaturen und den Produktivitäten betrachtet. Es ist die Notwendigkeit der experimentalen Prüfung für allen konkreten Fälle gezeigt.

---

## Conservation de l'énergie au processus du séchage avec un tube turbulent

**Résumé:** Sont examinées les possibilités de l'application des tubes turbulents Rank-Hilsch dans les technologies chimiques, avant tout dans les processus du séchage dans le but de la conservation de l'énergie, avec de hautes températures et productivités. Est montrée la nécessité de la vérification expérimentale pour tous les cas concrets.

---

**Авторы:** *Орлов Андрей Юрьевич* – старший преподаватель кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Суворова Юлия Владимировна* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Дмитриев Вячеслав Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и военная подготовка», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».