

ГОРНАЯ КНИГА

ISSN 0236-1493

# ГОРНЫЙ

ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
БЮЛЛЕТЕНЬ  
(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

MINING INFORMATIONAL  
AND ANALYTICAL  
BULLETIN  
(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)

СПЕЦИАЛЬНЫЙ  
ВЫПУСК 19

2015

КОМБИНИРОВАННЫЕ  
ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

УДК 676.1

**А.В. Александров, И.Р. Гайнутдинов**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*С использованием компьютерного моделирования выполнены исследования гидродинамики потоков органоминеральной суспензии в напускном устройстве. В результате исследований определена скорость в каждой точке сечения напускного устройства, что даёт возможность судить о степени диспергированности суспензии в целом, наличии застойных зон и водоворотных областей в полости напускного устройства. Обоснована методика оптимизации конструкции напускных гидродинамических устройств с учетом реологических особенностей суспензий. Вычислительный эксперимент на базе программного пакета Solid Works показал сложность гидродинамики объекта и необходимость разработки дополнительных методик в задании граничных условий. В данной статье предложены и реализованы методы оптимизации работы напускных устройств, работающих с органоминеральными суспензиями.*

*Ключевые слова: гидродинамика, реология, органоминеральные суспензии, компьютерное моделирование*

---

**В** химической технологии большинство технологических процессов осуществляются в машинах и аппаратах, которые воздействуют на органоминеральные суспензии (ОМС), представляющие смесь воды, волокон и химических вспомогательных веществ. Напускные устройства, как известно, представляют совокупность каналов различной формы – труб различной конфигурации и диаметра, каналов различного профиля, диффузоров и конфузоров, объединенных в общую систему, призванную обеспечить равномерный напуск массы по всей ширине и высоте напускаемого потока. Обеспечение оптимальных гидродинамических условий в потоке возможно лишь на основе учета соотношения скоростей и сил, действующих в массоподводящих и массонапускных системах, для чего необходимо знание внутренней структуры потока при движении ОМС.

С использованием компьютерного моделирования прове-

дены исследования гидродинамики потоков органоминеральной суспензии в напускном устройстве. В результате исследований определена скорость в каждой точке сечений напускного устройства, что даёт возможность судить о степени диспергированности суспензии в целом, наличии застойных зон и водоворотных областей в полости напускного устройства. Компьютерное моделирование позволяет экономить на проектировании и модернизации, тем, что не нужно проектировать и изготавливать дорогостоящие модели напускных устройств.

Как известно, рабочие ОМС являются многофазными системами, которым присущи специфические законы, характеризующие гидродинамику их поведения, коренным образом отличную от движения чистой воды [1].

Из гидродинамики известно, что в турбулентном потоке чистой воды касательное напряжение трения  $\tau$  определяется согласно соотношению:

$$\tau = (T + \mu) \dot{\gamma},$$

где  $T$  – динамический коэффициент турбулентного перемешивания;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости.

Динамический коэффициент турбулентного перемешивания  $T$  определяется интенсивностью и значением поперечных пульсаций воды в турбулентном движении. Этот коэффициент может во много раз превосходить коэффициент  $\mu$ . Поэтому в турбулентном движении воды коэффициент гидравлических потерь  $\lambda$  зависит практически только от коэффициента  $T$ , так как значение  $\mu$  несоизмеримо мало по сравнению со значением  $T$ .

Если в воду добавить волокна, то в диспергированном потоке они гасят микротурбулентность чистой воды. При этом чем гибче и эластичнее волокна, тем интенсивнее они гасят поперечную пульсацию воды в потоке и уменьшают числовое значение коэффициента  $T$ . Если учесть, что зависимость коэффициента гидравлических потерь на трение  $\lambda$  от коэффициентов вязкости определяется формулой:

$$\lambda = (T + \mu) \frac{64g}{d\gamma v},$$

то можно заметить, что в ОМС практически сводится к нулю влияние коэффициента  $T$  на значение  $\lambda$ . И даже несмотря на

то, что коэффициент  $\mu$  для суспензии выше, чем для воды, общий коэффициент гидравлических потерь для суспензии становится ниже, чем для чистой воды. Влияние остальных величин, входящих в эту формулу ( $g$  – ускорения свободного падения,  $d$  – диаметра канала,  $\gamma$  – удельного веса жидкости,  $v$  – средней скорости потока) на коэффициент гидравлических потерь можно не учитывать, так как они остаются практически одинаковыми при сопоставлении движения в идентичных условиях чистой воды и суспензии [2–4].

Необходимо отметить важное прикладное значение реологической характеристики ОМС. Возможность получения экспериментальной кривой течения ОМС на вискозиметре позволяет точно оценить способность к флокуляции рассматриваемой суспензии и использовать этот показатель в практических целях. Реологическая характеристика позволяет определить градиент скорости, при котором наступает полное диспергирование ОМС в потоке рассматриваемой суспензии. Этот показатель обозначается как критический градиент скорости –  $\dot{\gamma}_{кр}$ .

Таким образом, если в канале рассматриваемого аппарата рабочий градиент скорости суспензии меньше  $\dot{\gamma}_{кр}$ , то поток будет проявлять склонность к флокуляции, если же градиент скорости больше  $\dot{\gamma}_{кр}$ , то можно быть уверенным, что поток находится в диспергированном состоянии. Значение этого показателя для обеспечения эффективности технологического процесса чрезвычайно велико. Можно с уверенностью утверждать, что нет ни одного вида оборудования в технологическом потоке приготовления и переработки ОМС, где бы внутренняя структура потока не была связана с эффективностью процесса и не нуждалась в четком определении. Наличие реологической характеристики позволяет решать этот вопрос.

Исследование движения суспензии аналитическим путем представляет сложную задачу, которая пока теоретически неразрешима. По этой причине общее уравнение движения суспензии должно опираться на аналитически интерпретируемые гипотезы эмпирического происхождения.

**Основная цель данной работы** – используя возможности современного компьютерного пакета Solid Works Flow Simulation обосновать конструкцию напускного устройства с оптимальной проточной частью с целью повышения эффективности его работы.

Для реализации поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи исследования: — аналитический обзор исследований по формированию внутренней структуры потоков ОМС в напускных устройствах; — экспериментальное исследование гидродинамики движения потоков органоминеральных суспензий; — разработка рекомендаций по оптимизации проточной части напускного устройства.

Для обеспечения эффективного диспергирования потока органоминеральной суспензии в рассматриваемых каналах напускного устройства необходимо, чтобы в каждом из них рабочий градиент скорости суспензии был больше критического, т.е. необходимо выполнение условия  $\dot{\gamma}_p > \dot{\gamma}_{кр}$  [3-4].

В каждом сечении напорного устройства рассчитаны рабочие градиенты скорости  $\dot{\gamma}_p$ , и сопоставлены с критическим градиентом  $\dot{\gamma}_{кр}$ . Принципиальная схема устройства, для которого выполнен расчет, представлена на рис. 1.

Реализация компьютерного моделирования с использованием пакета Solid Works Flow Simulation для ОМС в напорном устройстве представлена на рис.2.

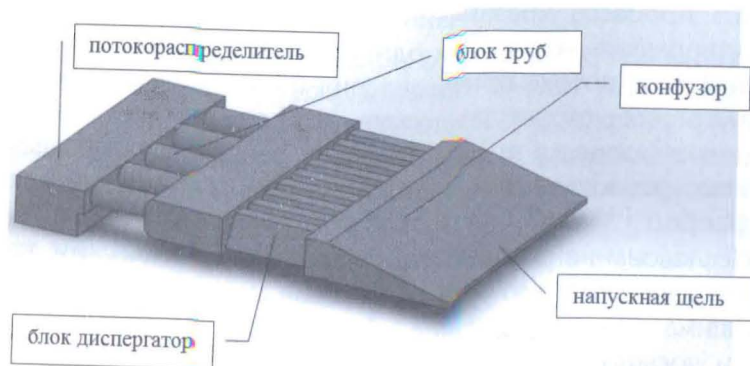


Рис. 1. Принципиальная схема напускного устройства

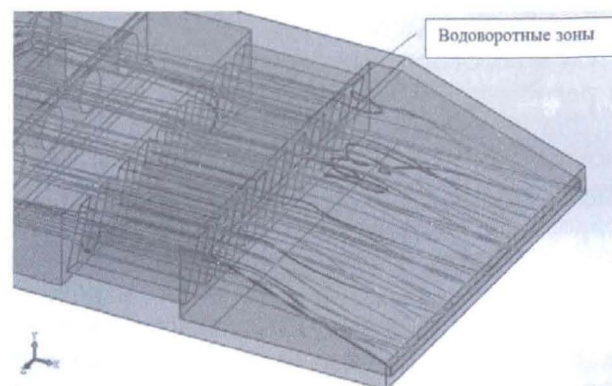


Рис. 2. Линии тока в конфузоре напускного устройства

Анализ данных, представленных на рис. 2, свидетельствует, что непосредственно за блоком диспергатором наблюдаются водоворотные зоны, что связано с неправильно подобранным расположением каналов или наличием пульсаций скорости.

Для устранения этого явления необходимо подобрать такую геометрию каналов блока диспергатора, чтобы исключить возможность возникновения водоворотных областей и застойных зон в проточной части напускного устройства.

Критерием оптимизации проточной части является отсутствие застойных зон и водоворотных областей. Варьируемыми факторами при моделировании были диаметр и количество труб в трубной секции. Результаты оптимизации проточной части представлены на рис. 3.

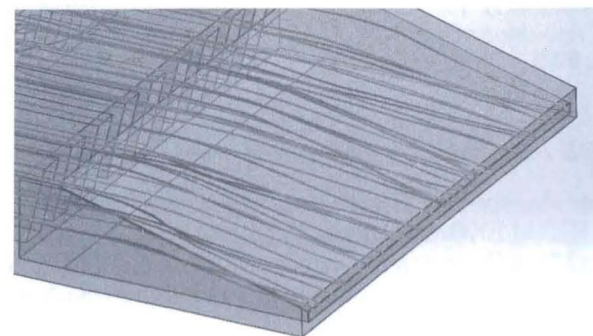


Рис. 3. Линии тока в оптимизированной конструкции напускного устройства (в конфузоре отсутствуют водоворотные зоны)

Анализ данных, представленных на рис. 3 показывает, что застойных зон и водоворотных областей нет, поток ОМС характеризуется равномерной скоростью по всей ширине напускного устройства. На основании компьютерного моделирования выполнены исследования гидродинамики движения потоков органо-минеральных суспензий в напускных устройствах. В результате исследования определены скорости в каждой точке сечения напускного устройства, что даёт возможность установить степень диспергированности потока суспензии в целом, наличие застойных зон и водоворотных областей в полости напускного устройства. Компьютерное моделирование позволяет экономить на проектировании тем, что не нужно проектировать и изготавливать дорогостоящие модели напускных устройств. Тем не менее, вычислительный эксперимент на базе программного пакета Solid Works показал сложность гидродинамики объекта и необходимость разработки дополнительных методик в задании граничных условий. Таким образом, в данной статье предложены и реализованы методы оптимизации работы напускных устройств, работающих с органо-минеральными суспензиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости [Текст] / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
2. Александров А.В. Реология и гидродинамика волокнистых суспензий (монография) // А.В. Александров, Т.Н. Мельникова. – Хабаровск: ХГТУ, 2004г. — 203 с.
3. Терентьев О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий [Текст] // О.А. Терентьев. – Л.: ЛТИ ЦБП, 1972. – 142 с.
4. Терентьев О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве [Текст] // О.А. Терентьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 248 с. **ПИС**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Александров Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, IGDALEX@rambler.ru,  
Гайнутдинов Илья Рустамович – аспирант, 9405630082@mail.ru,  
Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров.

UDC 676.1

#### STUDY OF THE INTERNAL STRUCTURE OF FLOW ORGANIC — MINERAL SUSPENSIONS BASED ON COMPUTER SIMULATION

Alexander A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of machines automated systems, St. Petersburg State Technological University of Plant polymers,  
Gainutdinov I.R., graduate student machines automated systems, Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers.

Using computer modeling studies conducted hydrodynamic flows organo-mineral suspension in an imaginary device were performed. Determined velocity at each point of the section feigned device was identified, which enables to judge the degree of dispersion of slurry in general, the presence of dead zones and eddy fields in the cavity feigned device. Method of optimizing the design hydrodynamic devices based on the rheological characteristics of suspensions justified. Computer experiment based on Solid Works software package showed the complexity of the hydrodynamics of the object and the need to develop additional methods in the boundary conditions. In this paper, methods of optimization of venting devices running organo-mineral suspensions proposed and implemented.

Key words: hydrodynamics, rheology, organic mineral suspension, computer simulation.

#### REFERENCES

1. Uilkinson U.L. *Nen'jutonovskie zhidkosti* (Non-Newtonian fluid) [Tekst] / U.L. Uilkinson. Moscow: Mir, 1964. 216 p.
2. Aleksandrov A.V. *Reologija i gidrodinamika voloknistyh suspenzij* (monografija) (Rheology and hydrodynamics fibrous suspensions (monograph)) // A.V. Aleksandrov, T.N. Mel'nikova. Habarovsk: HGTU, 2004. 203 p.
3. Terent'ev O.A. *Gidrodinamika voloknistyh suspenzij* (Hydrodynamics fibrous suspensions) [Tekst] // O.A. Terent'ev. Leningrad: LTI CBP, 1972. 142 p.
4. Terent'ev O.A. *Gidrodinamika voloknistyh suspenzij v celljuloz-no-bumazhnom proizvodstve* (Hydrodynamics fibrous suspensions) [Tekst] // O.A. Terent'ev. Moscow: Lesn. prom-st', 1980. 248 p.