

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОЛОННЫХ ФЛОТОМАШИН



*М. Г. ВИДУЕЦКИЙ,
зам. генерального
директора по научной
работе*



*И. Ф. ГАРИФУЛИН,
ведущий научный
сотрудник*



*Г. Д. ТОПАЕВ,
главный обогатитель
(ОАО «Святогор»)*

ОАО «Уралмеханобр»

В России работы по конструированию и испытанию колонных флотомашин и исследования особенностей процесса флотации в них были начаты в 60-е годы прошлого века по инициативе И. Н. Плаксина.

Накопленный к настоящему времени опыт разработки, внедрения и эксплуатации флотационных колонн показывает, что процесс флотации в них имеет ряд особенностей, связанных с геометрическими пропорциями рабочей камеры (высота значительно больше длины и ширины).

Во-первых, образующиеся при флотации аэрофлокулы в колонной флотомашине проходят более длинный (по сравнению с механическими или пневмомеханическими машинами) путь от места образования до места разгрузки в пенный продукт. Поэтому чем больше высота камеры машины, тем выше вероятность разрушения недостаточно прочных аэрофлокул до того, как она попадет в желоб разгрузки пенного продукта. Эффект большой высоты камеры флотомашин усиливается тем, что в подавляющем большинстве флотационных колонн традиционных конструкций реализован противоточный режим движения пульпы и пузырьков воздуха (пульпа движется сверху вниз навстречу пузырькам воздуха). Попытки обойти эту проблему и принудительно «вытолкнуть» недостаточно прочные аэрофлокулы на поверхность пульпы путем насыщения ее воздухом не дают и не могут дать положительного результата по следующей причине: чем больше тонкодиспергированного воздуха содержит пульпа, тем меньше ее объемная плотность и, соответственно, ниже подъемная (архимедова) сила, действующая на аэрофлокулу.

Во-вторых, колонные флотомашин имеют меньшую площадь «зеркала» для образования пенного слоя, а также меньшую геометрическую длину разгру-

зочного порога по сравнению с механическими или пневмомеханическими машинами того же объема. Поэтому в пенном слое, образуемом в колонне, в большей степени проявляются процессы вторичной концентрации полезного компонента, так как при недостатке свободного места на поверхности пульпы возникают процессы взаимного уничтожения аэрофлокул (уместен термин «погибшие в пене» [1]). Эти процессы носят вероятностный характер, и менее прочные аэрофлокулы разрушаются быстрее.

Изложенные выше особенности флотации минеральных частиц в «глубоких» колонных машинах с противоточным движением пульпы и воздуха приводят к тому, что по сравнению с механическими и пневмомеханическими в колонных машинах традиционных конструкций, как правило, получают пенные продукты с более высоким содержанием полезного компонента за счет некоторого снижения извлечения от операции. Поэтому среди обогатителей-практиков широко распространено мнение, что колонные флотомашин способны эффективно работать только в пересыщенных операциях.

В ОАО «Уралмеханобр» разработаны колонные флотомашин собственной оригинальной конструкции лабораторных, полупромышленных и промышленных типоразмеров. При этом изначально ставилась цель создать универсальный колонный аппарат, способный эффективно работать не только в пересыщенных. В связи с этим в конструкцию аппарата внесены элементы флотогравитационного процесса, исключен противоток пульпы и воздуха, а также созданы благоприятные условия для образования аэрофлокул в эжекторах 1-го уровня аэрации [2–5]. Проведены лабораторные и полупромышленные испытания колонной флотации различных руд с последующим внедре-

нием колонных флотомашин промышленного типоразмера на ряде обогатительных фабрик.

С целью дальнейшей модернизации внедренных образцов колонных аппаратов потребовался глубокий анализ накопленного опыта их разработки и эксплуатации. В ходе указанного анализа разнородные показатели, полученные при испытании колонных машин различных типоразмеров на разных предприятиях, в различных операциях флотации и на различном сырье, были сведены методами статистической обработки и математического моделирования в общий массив данных.

В качестве единого критерия оценки эффективности работы колонных флотомашин, внедренных на разных предприятиях, была выбрана *производительность по пенному продукту, отнесенная к 1 м³ объема камеры машины*. С некоторыми оговорками по этому универсальному критерию можно оценить работу любой флотомашин. Все общепринятые показатели, по которым оценивают эффективность работы флотомашин (извлечение полезного компонента от операции, производительность по исходному сырью и т. д.), логически вытекают из этого критерия.

Результаты расчета удельной производительности по пенному продукту при эксплуатации одинаковых колонных аппаратов конструкции ОАО «Уралмеханобр», внедренных на различных предприятиях, показали, что они практически не отличаются друг от друга (табл. 1). Следует отметить, что приведенные результаты достигнуты в режиме *максимального выхода пенного продукта* (максимально возможный расход воздуха, минимальная высота пенного слоя и т. д.).

Данные по качеству пенных продуктов и извлечению от операции в табл. 1 не приведены, так как они получены на различном исходном сырье и сравнивать их некорректно.

Таким образом, достигнутая удельная производительность по пенному продукту 0,34–0,37 т/(ч·м³) или 6,5–7,5 т/ч, по-видимому, является пределом, не зависящим от технологических свойств флотируемого сырья и обусловленным *только конструктивными параметрами* колонного аппарата данного типоразмера.

Для сравнения в табл. 2 приведена удельная производительность по пенному продукту механических и пневмомеханических машин различных типоразмеров на тех же предприятиях.

Анализ данных табл. 1 и 2 позволил сделать следующие выводы:

разработанные в ОАО «Уралмеханобр» колонные флотационные аппараты имеют более высокую удельную производительность по пенному продукту, чем механические и пневмомеханические с односторонним съемом пенного продукта, но уступают крупногабаритным флотомашинам с двухсторонним съемом пенного продукта;

удельная производительность флотомашин ОК-50 в два раза превышает данный показатель у флотомашин с односторонним съемом пенного продукта. Между тем конструкции сравниваемых в табл. 2 флотомашин принципиально отличаются только одним параметром: длиной разгрузочного порога, отнесенной к 1 м³ объема машины (у флотомашин с двухсторонней разгрузкой она в два раза выше). Становится очевид-

Таблица 1. Удельная производительность по пенному продукту колонных аппаратов равного типоразмера

Предприятие	Вид сырья	Операция флотации	Удельная производительность по пенному продукту, т/(ч·м ³)
ОАО «Святогор»	Медная руда Сафьяновского месторождения	Основная	0,361
ОАО «Святогор»	Медная руда Волковского месторождения	Основная	0,342
ОАО «Гайский ГОК»	Медная руда Летнего месторождения	Промпродуктовая	0,351
ОАО «Уралэлектромедь»	Металлургический шлак	Основная	0,375
Корпорация «Казахмыс»	Медная руда	Основная	0,365
Корпорация «Казахмыс»	Медная руда	Контрольная	0,345

Таблица 2. Удельная производительность по пенному продукту механических и пневмомеханических флотомашин

Предприятие	Вид сырья	Операция флотации	Тип машин	Удельная производительность по пенному продукту, т/(ч·м ³)
ОАО «Святогор»	Медная руда Сафьяновского месторождения	Основная	ФМР-2,5*	0,21
ОАО «Святогор»	Медная руда Волковского месторождения	Основная	ФМР-2,5*	0,20
ОАО «Уралэлектромедь»	Металлургический шлак	Основная	ФПМ-3,2*	0,22
ОАО «Гайский ГОК»	Медная руда Летнего месторождения	Основная	ОК-50**	0,49
ОАО «Гайский ГОК»	Медно-цинковая руда шахтной добычи	Основная	ОК-50**	0,52
ОАО «Гайский ГОК»	Медно-цинковая руда шахтной добычи	Контрольная	ОК-50**	0,46

* — флотомашин ФМР-2,5 и ФПМ-3,2 имеют односторонний съем пенного продукта; ** — флотомашин ОК-50 имеют двухсторонний съем пенного продукта.

ным, насколько этот конструктивный параметр флотомашин важен для ее эффективной работы.

Проведено также сравнение удельной производительности по пенному продукту промышленной и опытной полупромышленной колонных флотомашин

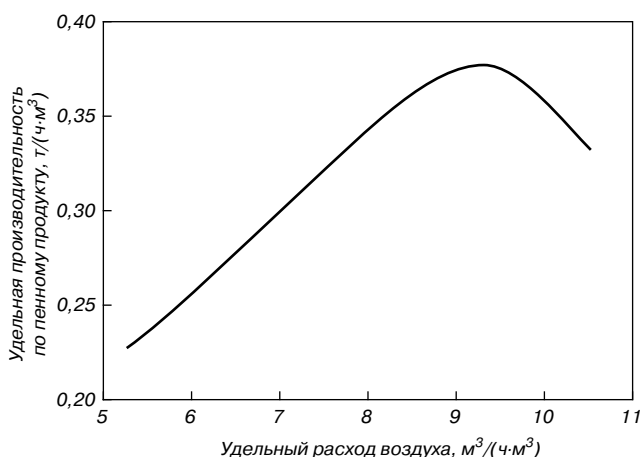


Рис. 1. Зависимость удельной производительности промышленной колонной флотомашин по пенному продукту от удельного расхода воздуха в аэрирующие устройства

Таблица 3. Сравнительные показатели флотации в колонных флотомашинах

Показатели	Колонная флотомашина	
	промышленная	опытная полупромышленная
Объем камеры флотомашин, м³	19	0,04
Расход сжатого воздуха, м³/ч	180	1,15
Выход пенного продукта, т/ч	7,15	0,0389
Производительность по исходному, т/ч	62,5	0,136
Содержание меди в пенном продукте, %	14,34	11,29
Извлечение меди от операции (с учетом циркуляционной нагрузки), %	51,28	77,80
Удельная производительность по исходному продукту, т/(ч·м³)	3,29	3,40
Удельная производительность по пенному продукту, т/(ч·м³)	0,375	0,972

Таблица 4. Сравнение конструктивных параметров опытной и промышленной машин

Показатели	Колонная флотомашина	
	промышленная	опытная
Объем камеры флотомашин, м³	19	0,04
Длина разгрузочного порога, м	6,91	0,75
Площадь пенообразования, м²	3,8	0,045
Удельная длина разгрузочного порога, м/м³ объема машины	0,36	18,75
Удельная площадь пенообразования, м²/м³ объема машины	0,2	1,1

конструкции ОАО «Уралмеханобр» (табл. 3). Расчет проведен по результатам испытаний указанных аппаратов на одном из предприятий в операции основной флотации шлаков медеплавильного производства. Как видно, при одинаковой удельной производительности по исходному сырью в опытной флотомашине удельная производительность по пенному продукту в 2,5 раза выше, чем на промышленной колонной машине, и в 2 раза выше, чем на ОК-50.

Сравниваемые колонные аппараты имеют абсолютно одинаковую конструкцию, разница заключается только в размерах. Исходя из данных, приведенных в табл. 3, очевидно, что повышение эффективности работы колонных флотомашин связано с пересмотром традиционных представлений об оптимальных пропорциях рабочей камеры аппарата (длина, ширина, высота).

Эффективность работы флотомашин зависит от количества воздуха, которое она способна пропустить через себя, а также от КПД пузырьков воздуха как носителей флотируемых частиц. Эта закономерность подтверждается результатом расчета удельного расхода воздуха на опытной и промышленной флотомашине и сравнением их удельных производительностей (см. табл. 3):

удельный расход воздуха в опытной машине равен $1,15 \text{ м}^3/\text{ч} : 0,04 \text{ м}^3 = 28,75 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^3)$, а в промышленной машине — $180 \text{ м}^3/\text{ч} : 19 \text{ м}^3 = 9,47 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^3)$;

соотношение удельных расходов воздуха в указанных машинах равно $28,75 : 9,47 = 3 : 1$, а соотношение удельных производительностей по пенному продукту равно $0,972 : 0,375 = 2,6 : 1$.

Таким образом, прямая зависимость эффективности работы флотомашин от ее способности пропустить определенное количество воздуха очевидна.

Однако следует оговориться, что эффективность работы флотомашин определяется не только количеством воздуха, но и КПД образующихся пузырьков. Например, при превышении удельного расхода воздуха в промышленных колонных машинах $9,5 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^3)$ ($180\text{--}190 \text{ м}^3/\text{ч}$) эффективность их работы снижается (рис. 1). Между тем в опытной машине при значительно большем удельном расходе воздуха — до $28,75 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^3)$ КПД подаваемого воздуха продолжал оставаться высоким.

Сравнение указанных выше конструктивных параметров (табл. 4) позволяет ответить на вопрос, почему опытная машина способна пропустить значительно больший объем воздуха, сохраняя высокий КПД газовых пузырьков: она имеет в 5 раз большую удельную площадь пенообразования и в 50 раз большую удельную длину разгрузочного порога.

Это объясняется тем, что размеры промышленной колонной флотомашин

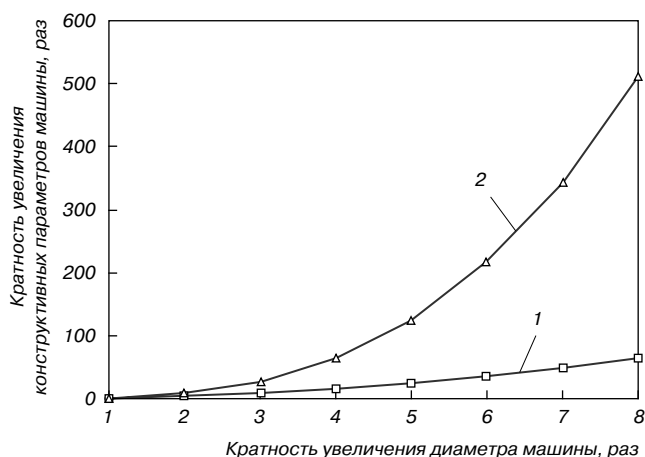


Рис. 2. Изменение конструктивных параметров колонной флотомашины при увеличении ее диаметра:

1 — площадь пенообразования; 2 — объем машины

рассчитывали пропорционально размерам опытной машины. Между тем при увеличении диаметра рабочей камеры длина ее разгрузочного порога возрастает по линейной зависимости, площадь пенообразования — по квадратичной зависимости. Еще быстрее возрастает объем флотомашины (при условии пропорционального увеличения высоты камеры) (рис. 2).

При «пропорциональном» переходе от опытной машины к промышленной произошло значительное сокращение удельной площади пенообразования и длины разгрузочного порога (см. табл. 4). Именно поэтому промышленная машина обладает меньшей пропускной способностью по сжатому воздуху и, соответственно, удельной производительностью по пенному продукту.

Таким образом, выбор оптимальных пропорций рабочей камеры колонных флотомашин требует тщательной серьезной проработки и проведения исследований. Это позволит уточнить сложившиеся представления о возможностях колонных флотомашин и повысить эффективность их работы.

Правильность данного положения подтвердили результаты промышленных испытаний «укороченной» промышленной колонной флотомашины конструкции ОАО «Уралмеханобр» на одном из предприятий в операции основной флотации медной руды. Снижение высоты ее рабочей камеры на 1,5 м позволило повысить расход сжатого воздуха от 180 до 215 м³/ч и, соответственно, повысить производительность по пенному продукту от 0,361 до 0,685 т/(ч·м³).

В настоящее время в ОАО «Уралмеханобр» разработана и запатентована промышленная колонная флотомашина со сниженной до 5,5 м высотой и увеличенными площадью пенообразования и длиной разгрузочного порога.

Выводы

В промышленных колонных машинах заложены возможности значительного увеличения эффективности их работы. Они связаны с пересмотром традиционных представлений о пропорциях рабочей камеры аппарата (длина, ширина, высота).

Разработанная в ОАО «Уралмеханобр» концепция совершенствования промышленных колонных флотомашин предусматривает значительное изменение общепринятых геометрических пропорций флотационных камер: снижение высоты до 5–6 м; увеличение площади пенообразования и длины разгрузочного порога.

Частичная реализация одного из направлений разработанной концепции позволила почти вдвое повысить удельную производительность промышленной колонной флотомашины.

Список литературы

1. Блехман И. И., Кремер Е. Б., Саонов Г. Т. // Обогащение руд. — 2001. — № 6.
2. Новая флотомашина колонного типа / М. Г. Видуецкий, В. А. Мальцев, В. В. Клячин и др. // Горный журнал. Известия вузов. — 2001. — № 4-5.
3. Новая флотомашина колонного типа конструкции института Уралмеханобр / М. Г. Видуецкий, В. А. Мальцев, С. Д. Читалов и др. // Цветные металлы. — 2001. — № 8.
4. Оценка результатов промышленных испытаний новых аппаратов с применением метода множественной регрессии на примере колонной флотационной машины КФМ-1400 / М. Г. Видуецкий, И. Ф. Гарифулин, В. А. Мальцев и др. // В сб.: Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья. — Екатеринбург: УГГГА, 2003.
5. Многофункциональный универсальный колонный аппарат / М. Г. Видуецкий, В. А. Мальцев, С. Н. Матвеев и др. // ГИАБ. — 2003. — № 3. **ГЖ**

E-mail: umbr@umbr.ru

WAYS OF IMPROVEMENT OF COLUMN FLOTATORS

Viduetsky M. G., Garifullin I. F., Topaev G. D.

«Uralmekhanobr» has developed the concept of improvement of industrial column flotators providing essential varying of conventional geometrical proportions in flotation chambers. Realization of this concept allows to increase specific productivity of flotator almost by two times.

Key words: column flotators, specific productivity, overall dimensions, air consumption