Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, т. LXIX, вып. 1, 1975 г.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОСОДЕРЖАНИЯ В КАМЕРЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ФЛОТАЦИОННОЙ МАШИНЫ

В.В.ДЕНЕГИН, Н.Н.ДЕНЕГИНА

Одной из характерных особенностей потока в камере механической флотационной машины является его неоднородность. Через любую точку камеры проходят воздушные пузырьки различной крупности, способные увеличивать размеры по мере всплытия и коалесценции. Особенно сильная неоднородность наблюдается в нижних слоях камеры, где преобладает турбулентный характер движения.

Через прозрачные стенки камеры хорошо прослеживается процесс образования вихрей в зоне действия импеллера, несущих пузырьки воздуха. Распределение воздушных пузырьков в несущих вихрях имеет самый разнообразный характер и подчиняется статистическим законам. С определенной частотой повторений эти вихри возникают и постепенно размешиваются с окружающей средой. В отдельных точках камеры в зоне вихреобразования локальными значениями газосодержания являются $\zeta_{min} = 0$ и $\zeta_{max} = 100\%$. Мгновенные же значения газосодержания ζ_i лежат между этими крайними значениями и непрерывно пульсируют. Для идеально однородных условий (постоянный расход воздуха, все пузырьки одного размера) газосодержание в исследуемой точке остается неизменным $\zeta(t)=\text{const}$ и равным своему среднему значению $\bar{\zeta}$. В предельно неоднородных условиях возможны два локальных значения газосодержания: $\zeta_1 = 0$ и $\zeta_2 = 100\%$.

Если вероятность постоянного присутствия в данной исследуемой точке пузыря обозначить через p $(0 < p < 1)$, а вероятность полного отсутствия воздуха выразить через $1 - p$, то среднее значение газосодержания

$$\bar{\zeta} = (1-p)\,\zeta_1 + p\,\zeta_2 = p \cdot 100, \%\ .$$

В случае предельно неоднородных условий среднее абсолютное отклонение газосодержания от своего среднего значения

$$|\Delta\bar{\varepsilon}| = (1-p)(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_1) + p(\varepsilon_2 - \bar{\varepsilon}) = 2(1-p)\bar{\varepsilon},$$

а относительное его значение

$$\frac{\Delta\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}} = 2(1-p).$$

В противоположность этому, в идеально однородном слое

$$|\Delta\bar{\varepsilon}| = 0; \qquad \frac{|\Delta\bar{\varepsilon}|}{\bar{\varepsilon}} = 0.$$

Таким образом, относительное отклонение газосодержания находится в пределах

$$0 < \frac{|\Delta\bar{\varepsilon}|}{\bar{\varepsilon}} < 200\%.$$

Естественно в качестве меры неоднородности выбрать относительную флуктуацию газосодержания

$$\delta = \frac{|\Delta\bar{\varepsilon}|}{\bar{\varepsilon}} \cdot 100, \%.$$

Из этого выражения видно, что для определения величины δ необходимо измерить среднее значение газосодержания $\bar{\varepsilon}$ и среднюю пульсацию $\Delta\bar{\varepsilon}$. Измерения, таким образом, распадаются на два этапа: 1) измерение мгновенных значений $\varepsilon(t)$, $\Delta\varepsilon(t)$ и их регистрация; 2) усреднение измеренных величин за определенный, достаточно большой по сравнению с периодами пульсаций, интервал времени T.

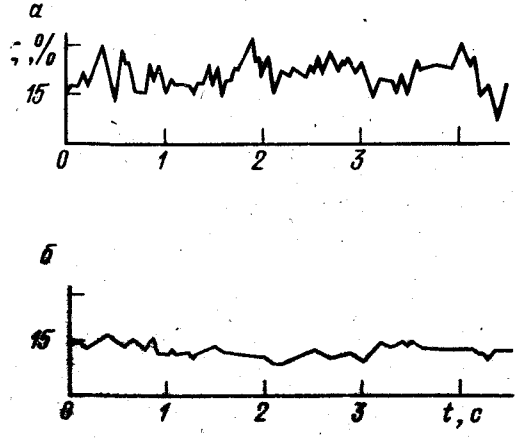


Рис. 1. Примеры осциллограмм газосодержания при полностью открытых рециркуляционных окнах и глубине камеры 0,7 м: а – в зоне импеллера, б – в средней части камеры

С помощью резистивного метода были получены осциллографические записи измерений газосодержания для различных условий проведения эксперимента (рис. I).

Во всех опытах газосодержание замерялось в фиксированных точках, расположенных по ширине камеры вдоль радиусов импеллера через 45°. Кроме того, исследованию подвергались наиболее характерные точки (точки интенсивного вихреобразования, застоя и бурления). Все измерения проводились на четырех уровнях по высоте камеры: 0,I м (зона импеллера); 0,3; 0,5 и 0,7 м. Записи подвергались математической обработке для получения искомых средний значений $\bar{\zeta}$ и $\Delta\bar{\zeta}$.

Обработка осциллограмм велась по точкам. С помощью сигнала отметчика времени осциллограммы разбивались на ряд временных интервалов. Измерялись ординаты точек, т.е. ряд последовательных мгновенных значений газосодержания ζ_i ($i = 1,2,\ldots,n$). Число точек определялось характером осциллограммы в соответствии с законами математической статистики. Затем находились средневзвешенные значения

$$\bar{\zeta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \zeta_i m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} ,$$

где ζ_i – i-й вариант газосодержания; m_i – его вес.

Отклонения каждого из мгновенных значений от среднего находились из соотношения $\Delta\zeta_i = \zeta_i - \bar{\zeta}$, после чего рассчитывалось среднее абсолютное отклонение

$$|\Delta\bar{\zeta}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |\zeta_i - \bar{\zeta}| .$$

Средние квадратичные отклонения для статистически случайного распределения величин ζ_i по закону Гаусса определялись из соотношения:

$$\sqrt{(\Delta\bar{\zeta})^2} = 1,25\,|\Delta\bar{\zeta}| .$$

В условиях проведения экспериментов за счет открытия задвижки изменялись потоки отдельных фаз, проходящих через импеллер. При этом количество воздуха, засасываемое импеллером через воздушный патрубок обсадной трубы, менялось в среднем от 0,35 м^3/мин (при закрытой задвижке, т.е. $\lambda = 0$) до 0,44 м^3/мин (при полностью открытой задвижке, $\lambda = 1$), в то время как расчетная производительность импеллера по воде составляла 0,32 м^3/мин при $\lambda = 0$ и 1,1 м^3/мин при $\lambda = 1$.

Корреляционные кривые на рис. 2 построены по результатам осреднения для отдельных точек камеры.

Визуальные наблюдения и результаты исследования скоростной структуры потоков показывают, что с открытием задвижки степень турбулентного перемешивания в камере возрастает, а вместе с тем возрастают и средние значения флуктуации газосодержания δ (рис. 3). Наихудше-

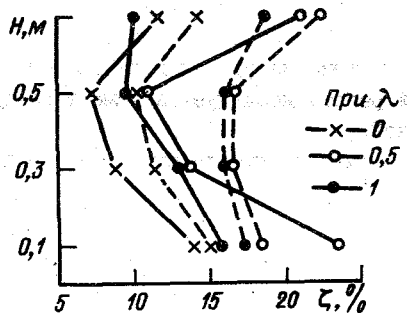


Рис. 2. Газосодержание в камере при различной степени открытия рециркуляционных окон и неодинаковой глубине слоя
Сплошная линия – без вспенивателя, пунктир – со вспенивателем (сосновое масло, 20 г/м³)

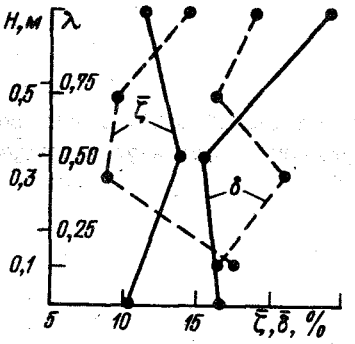


Рис. 3. Зависимость осредненных значений флуктуации $\bar{\delta}$ и газосодержания $\bar{\zeta}$ от степени открытия рециркуляционных окон λ (сплошная линия) и глубины слоя H (пунктир)

му гидродинамическому режиму, который наступает при полностью открытых задвижках ($\lambda = 1$), соответствуют наибольшие средние значения флуктуации газосодержания ($\bar{\delta} = 23{,}2\%$). Флуктуации газосодержания изменяются в зависимости от характера потоков и по исследуемым горизонтам камеры. Наибольшие значения δ были зафиксированы в надимпеллерной зоне (горизонт 0,3 м) и в верхней зоне камеры (горизонт 0,7 м).

Изменение газосодержания по высоте камеры объясняется существованием зон с различными режимами течений. Так, характер потоков на горизонте 0,1 м связан с непосредственным воздействием импеллера, создающего интенсивное вихреобразование и пульсации различной интенсивности и масштаба. В зоне действия импеллера бóльшая часть энергии турбулентных пульсаций расходуется на удержание пузырьков воздуха внутри потоков. Это приводит к тому, что импеллерная зона характеризуется более высоким значением газосодержания.

Надимпеллерные зоны также характеризуются значительным вихреобразованием и возникновением нисходящих потоков. По сравнению с горизонтом 0,1 м исследуемые потоки горизонта 0,3 м обладают меньшей удерживающей способностью, в результате чего возрастают составляющие скоростей восходящих потоков и значения газосодержания снижаются. Наличие интенсивных нисходящих потоков в отдельных областях надимпеллерной зоны, вызванных вихреобразованием в нижних горизонтах, приводит к дополнительной турбулизации и к значительной неравномерности скоростной структуры потоков. Это способствует увеличению флуктуаций газосодержания по всем исследуемым точкам горизонта 0,3 м.

На горизонте 0,5 м удерживающее воздействие турбулентных потоков на пузырьки воздуха несколько снижается, наблюдается некоторое ослабление внутрикамерной циркуляции. Это приводит к увеличению скорости подъема воздушных пузырьков, некоторому снижению значений газосодержа-

ний в исследуемых точках. Тем не менее степень турбулентности на этом горизонте остается высокой, что приводит к созданию весьма неблагоприятного гидродинамического режима для подъема нагруженных пузырьков воздуха в пенный слой. С этих позиций работу исследуемой камеры следует признать весьма неудовлетворительной.

Близость свободной поверхности оказывает существенное влияние на скоростную структуру потоков и распределение газосодержания в верхних слоях камеры . Горизонт 0,7 м находился несколько ниже свободной поверхности. При степени открытия задвижки $\lambda = 0$ и $\lambda = 0{,}5$ во всех точках исследуемого горизонта газосодержание было более высоким, чем на горизонте 0,5 м. Восходящие потоки, достигнув верхних горизонтов камеры, меняют свое направление. Появление значительных горизонтальных составляющих скорости потока приводит к "подтормаживанию" движения воздушных пузырьков и их скоплению в верхней зоне камеры, а следовательно, и к увеличению газосодержания. Флуктуации газосодержания по рассматриваемому горизонту носят неравномерный характер. Особенно велики они в областях, на поверхности которых наблюдается чрезмерное бурление.

Интересные данные по распределению газосодержания по высоте камеры получены в серии опытов с добавкой пенообразователя (см. рис.2). Анализ экспериментальных данных показывает, что в присутствии пенообразователя значения газосодержания в средней части камеры имеют тенденцию к увеличению. Возрастает дисперсность воздушной фазы. Подтормаживающее влияние свободной поверхности, занятой даже незначительным слоем пены, сказывается в снижении скорости подъема диспергированных воздушных пузырьков примерно в 1,7–2,1 раза. Это приводит к увеличению времени жизни динамического двухфазного слоя в среднем до 10 с после остановки импеллера. Кроме того, уменьшение среднего размера воздушных пузырьков в процессе диспергации является важным фактором, влияющим на снижение скорости их подъема.

Анализ характера осциллограмм, полученных при работе со вспенивателем, показывает, что флуктуация газосодержания во всех исследуемых точках по своей величине значительно меньше значений, приведенных на рис. 3. Это говорит о том, что с добавкой вспенивателя воздушная фаза оказывает значительно большее стабилизирующее влияние на характер потоков. Однако по всем исследуемым горизонтам, так же как и в серии опытов, проведенных на чистой воде, величина флуктуации газосодержания не остается постоянной. Это свидетельствует об отсутствии равномерности поля скоростей на рассматриваемых горизонтах камеры.

Выводы

1. Результаты измерений показывают, что средние значения газосодержания в условиях работы камеры на водовоздушной смеси находятся в интервале от 5 до 30%, а в присутствии вспенивателя – до 35%. Величина газосодержания меняется как по высоте, так и по ширине камеры.

2. Резистивный метод исследования аэрационных характеристик флотационных машин позволяет: замерять мгновенные значения газосодержания в любой точке камеры, определять средние значения газосодержания в исследуемых точках и по полученным величинам судить о равномерности распределения воздушной фазы в объеме камеры; судить о характере потоков в камере флотомашины по величине флуктуаций газосодержания.

3. Резистивный метод может быть применен при сравнительной оценке исследуемых машин.