

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЫРЧАТОГО ЛИСТА НА ВЕЛИЧИНУ УНОСА ТЯЖЕЛОЙ КОМПОНЕНТЫ ПРИ БАРБОТАЖЕ

В. Б. Жинкина, И. Г. Маленков, В. Н. Москвичева

(Новосибирск, Ленинград)

Барботаж жидкости газом, или другой несмешивающейся с ней жидкостью, нашел широкое практическое приложение в самых разнообразных отраслях промышленности и особенно в котельной технике и химической технологии.

Знание условий, при которых из барботируемого слоя потоком легкой компоненты уносится наименьшее количество тяжелой жидкости, имеет большое значение.

Ранее [1] было замечено, что наиболее интенсивный унос начинается после того, как произойдет перестройка структуры слоя, т. е. когда приведенная скорость легкой компоненты достигнет так называемого критического значения. В этой связи ниже рассматривается влияние приведенной скорости и условий входа легкой компоненты на унос прежде всего в закритической области.

Эксперименты были выполнены на прямоугольной прозрачной колонке высотой 2000 мм и площадью поперечного сечения 200×200 мм².

Ввод легкой компоненты в слой производился через сменные дырчатые листы с различными геометрическими характеристиками: диаметры отверстий $d = 2, 3, 5$ и 8 мм; живое сечение листа $\varphi = 2, 3, 4, 5, 8, 12, 5\%$.

Все опыты проведены на системе вода — ртуть с приведенной высотой слоя $h' = 72$ мм.

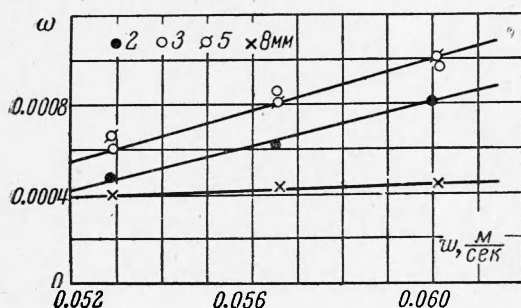
Определение концентрации ртути в воде производилось химическим методом, так как механическое отделение ртути недостаточно точно. Ртуть, содержащаяся в пробе, растворялась при помощи химических реактивов, затем производилось calorиметрическое сопоставление со стандартным раствором, содержащим известное количество ртути.

Отбор проб производился при постоянной приведенной скорости легкой компоненты и установившемся закритическом режиме барботажа. Пробы отбирались из сливной трубы в стеклянную двухлитровую колбу. Каждый раз определялось время ее наполнения и использовалось при расчетах количества ртути и воды, покидающих барботер в единицу времени.

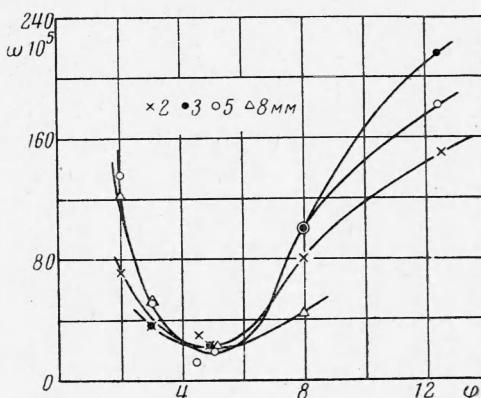
По результатам измерений находилась величина $\omega = p/G$ — относительное содержание ртути в воде (p — количество ртути, унесенное в единицу времени; G — количество воды, унесенное p кг ртути в единицу времени).

Полученный опытный материал показывает, что влияние геометрических характеристик дырчатого листа на величину уноса тяжелой компоненты с потоком имеет весьма сложный характер.

Из фиг. 1 видно, что кривая зависимости относительного уноса ω от относительного живого сечения дырчатого листа φ (при $w = 0,06$ м/сек) имеет хорошо выраженный минимум при $\varphi_m \approx 5\%$. В области значений $\varphi < \varphi_m$ кривая падает несколько круче, чем восходит в области $\varphi > \varphi_m$.



Фиг. 2. Изменение величины уноса от значения приведенной скорости потока w' , при $\varphi = 8\%$ для значений диаметра отверстия $d = 2, 3, 5, 8$ мм

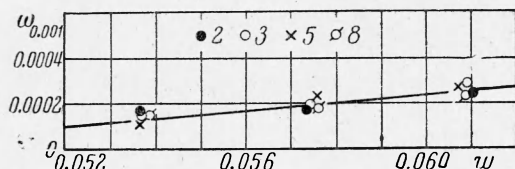


Фиг. 1. Величина уноса в зависимости от изменения живого сечения φ при $w' = 0,06$ м/сек для значений диаметра отверстия $d = 2, 3, 5, 8$ мм

Из фиг. 1 видно, что кривая зависимости относительного уноса ω от относительного живого сечения дырчатого листа φ (при $w = 0,06$ м/сек) имеет хорошо выраженный минимум при $\varphi_m \approx 5\%$. В области значений $\varphi < \varphi_m$ кривая падает несколько круче, чем восходит в области $\varphi > \varphi_m$.

Отчетливо обнаруживается также расслоение кривых по диаметрам отверстий дырчатого листа (фиг. 2), более заметное на концах кривых. Вблизи значения $\varphi \approx 5\%$ опытные точки практически ложатся на одну кривую, что особенно отчетливо видно из фиг. 3.

Основное отличие двухкомпонентного потока в докритической и закритической областях состоит в резком различии структуры барботируемого слоя. Двухкомпонентный слой докритического течения представляет собой устойчивую сплошную турбулентную массу тяжелой компоненты, толщу которой пронизывает поток отдельных капель легкой компоненты. Закритическая область течения представляет собой обратную картину: в потоке легкой компоненты перемещаются отдельные капли тяжелой.



Фиг. 3. Изменение величины уноса от значения приведенной скорости потока w' при $\varphi = 5\%$ для значений диаметра отверстия $d = 2, 3, 5, 8$ мм

Перестройка структуры слоя происходит, как уже говорилось выше, при критическом значении приведенной скорости легкой компоненты.

Вновь возникающая структура представляет собой систему шарообразных капель ртути, расположенных по высоте в соответствии со своими размерами; наиболее крупные — внизу, самые мелкие — наверху.

Перестройка структуры слоя сопровождается увеличением уноса

ртути. В общем случае величина уноса определяется весом капель, их формой, скоростью несущего потока, физическими свойствами компонент (поверхностное натяжение, плотность, вязкость).

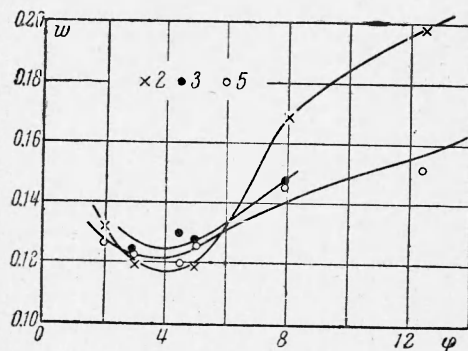
Различают три вида уноса: 1) пеноунос, характерный для малых скоростей и небольших сепарационных объемов; 2) унос «пыли» и очень мелких капель, для которых скорость их падения не превышает скорости восходящего потока; 3) унос брызг, происходящий вследствие механического подбрасывания капель более крупного размера, наблюдающийся в сепараторах, высота которых меньше высоты выброса этих капель.

В рассматриваемом случае решающее значение имел второй случай, так как приведенная скорость была значительной, а большая высота барботера исключала возможность выброса брызг крупного размера в такой плотной среде, какой является вода.

Данные, приведенные на фиг. 1, взяты при одной и той же приведенной скорости $w = 0.06$ м/сек; кажется, что в этом случае для всех значений φ размеры выносимых капель и, следовательно, уносы должны иметь постоянные значения. Однако, как показывают опытные данные, это не так.

Различная интенсивность уноса при разных φ объясняется изменением условий, при которых происходит возникновение капель.

На фиг. 4 приведен график относительной скорости легкой компоненты в функции от относительного живого сечения φ при $w = 0.06$ м/сек. Из рассмотрения графика видна полная аналогия формы кривых с кривыми, изображенными на фиг. 1. Можно полагать, что в ее основе лежат одни и те же закономерности. Изменение количества уносимой ртути, как и изменение относительной скорости потока w , происходит, видимо, вследствие отличий структуры потока при различных значениях φ . При малых значениях φ легкая компонента входит в слой с относительно большими скоростями, число центров ввода весьма рассредоточено по площади дырчатого листа. Истечение таких струй происходит без заметного взаимодействия, вытесненные капли ртути свободно опускаются в межструйных пространствах. Сильные струи воды, вливаясь в слой, пронизывают его, создают в нем обособленные «каналы», через которые вода проходит непрерывным потоком. Движущийся таким образом поток воды слабо перемешивает слой в поперечном направлении, и происходящие в нем возмущения носят почти локальный характер. Однако капли ртути, попадающие в канал с быстро текущей водой, разбиваются в «пыль» и легко уносятся из барботера. Отсюда большая относительная скорость и сильный унос ртути в области $\varphi < \varphi_m$.



Фиг. 4. Изменение w' с изменением относительного живого сечения φ при $w = 0.06$ м/сек для значений диаметра отверстия $d = 2, 3, 5, 8$ мм

Увеличение φ достигается путем увеличения числа отверстий (при том же значении d), что влечет, с одной стороны, уменьшение кинетической энергии струи, с другой, — движение струй через слой становится более стесненным. Уменьшение кинетической энергии струи приводит к тому, что она разрушает меньшее число ртутных капель, встречающихся ей на пути при прохождении по каналу в слое. Чем больше величина φ , тем меньше кинетическая энергия и тем меньше разрушенных капель. Отсюда следует, что с увеличением φ величина уноса уменьшается, что подтверждается опытными данными (падающая часть кривой фиг. 1). Но увеличение φ сопровождается увеличением числа центров ввода легкой компоненты, а это ведет к тому, что движением охватываются все большие объемы слоя, возрастает взаимодействие между струями и «шариками» ртути, между восходящими и нисходящими потоками капель ртути. Тем самым достигается равномерность течения воды в слое: все капли ртути оказываются во взвешенном состоянии в потоке воды и охваченными турбулентным движением. Сопrotивление слоя, состоящего из движущихся капель, по-видимому, меньше, чем слоя, состоящего из неподвижных капель. С увеличением φ происходит дальнейшее падение сопротивления, о чем свидетельствует уменьшение высоты динамического слоя смеси в исследованном диапазоне живых сечений листа φ .

Вследствие этого относительная скорость возрастает. Одновременно растет и величина уноса ртути, так как капли при беспорядочном движении по слою с большой силой налетают одна на другую и разрушаются. Кроме того, с увеличением φ турбулентные пульсации из крупномасштабных переводятся в мелкомасштабные, что также приводит к дроблению крупных капель и способствует увеличению количества капель, транспортируемых потоком, т. е. с изменением φ меняются причины, приводящие к образованию мелких капель, которые могут транспортироваться потоком.

В области значений $\varphi < \varphi_m$ унос определяется изменением кинетической энергии струй, а в области $\varphi > \varphi_m$ — количеством столкновений капель, приводящих их к разрушению, и изменением масштаба пульсаций слоя. Изменение относительной скорости в области $\varphi < \varphi_m$ происходит за счет уменьшения первоначальной скорости истечения струй из отверстия, а в области $\varphi > \varphi_m$ — за счет уменьшения сопротивления слоя, происходящего из-за взвешивания капель ртути в потоке легкой компоненты. На основе такой трактовки механизма образования транспортируемых капель возможно удовлетворительное объяснение расслоения кривых уноса (фиг. 1) в зависимости от диаметра отверстий дырчатого листа. Количество отверстий в дырчатом листе при заданном φ зависит от их диаметра.

При малых значениях φ в процессе дробления капель решающее значение имеет величина отверстия, так как в этой области унос определяется кинетической энергией струи. С увеличением диаметра отверстий плотность их распределения по площади дырчатого листа уменьшается. Струя воды, истекающая из отверстия большого диаметра, имеет большую секундную массу при той же скорости истечения.

Каждая струя потока с силой прорывается сквозь слой и, так как она имеет большую энергию, производит более сильные разрушения. Из отверстия меньшего диаметра истекает струя с меньшей кинетической энергией, более тонкая, поэтому она легче и с меньшими разрушениями проходит сквозь слой (наши рассуждения относятся к случаю, когда при всех значениях φ через слой продавливается одно и то же количество легкого компонента, т. е. поддерживается неизменной приведенная скорость w).

Из фиг. 1 видно, что кривые, относящиеся к значениям диаметров 5 и 8 мм, идут значительно выше кривых, соответствующих диаметрам 2 и 3 мм.

При значениях $\varphi > \varphi_m$ унос определяется уже не размером отверстий (не кинетической энергией струй), а их количеством, приходящимся на единицу площади дырчатого листа, так как степень турбулизации слоя возрастает с увеличением плотности действующих центров ввода легкой компоненты. На этом же графике отчетливо видно, что кривые, соответствующие меньшим диаметрам, идут выше кривых, соответствующих большим диаметрам. Некоторое смещение в положении кривых объясняется, видимо, неточностью измерений из-за пульсации давления в водопроводе, от которого производилось снабжение колонки водой.

Таким образом, величина уноса имеет сложную зависимость от геометрических характеристик дырчатого листа. Существует область значений φ , при которых наблюдается наименьший унос тяжелой компоненты из барботируемого слоя. Это значение $\varphi \approx 5\%$. Количественные изменения величины уноса происходят из-за различия структуры потока воды, истекающей из отверстий листа, при различных значениях φ и различия в механизме взаимодействия втекающей легкой компоненты с каплями ртути, из которых состоит слой с закритической области процесса барботажа.

Поступила 15 IX 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутателадзе С. С., Старикович М. А. Гидравлика газо-жидкостных систем. ГЭИ, 1958.