

Вопрос взаиморасчётов на горнообогатительных предприятиях, решаемый при приёмке-передаче трёхфазной пульпы в трубопроводной транспортной системе различными производственными подразделениями, сегодня представляет собой весьма сложную задачу [1]. Связано это с тем, что для определения параметров потока, состоящего из трёх фаз (газ, вода и твёрдые частицы), требуется измерения семи параметров среды: плотности двух фаз и трёх значений скорости, а так же давления и температуры [2,3,4,5,6]. Сегодня на рынке отсутствуют приборы по учёту каждой фазы отдельно в смеси трёхфазной пульпы. Авторами в работе [7] представлена схема устройства для измерений расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы (рис.1), которая включает четыре первичных измерительных преобразователя - расхода и уровня 1, плотности 2 и давления 3. Сигналы от всех четырёх преобразователей поступают на вычислительное устройство 5, на выходе которого имеется измеритель расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде 4.

Рис. 1 - Схема устройства для измерений расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы

Измерения давления в сечениях А-А и Б-Б необходимы для компенсации параметров газовой фазы ρ_g , так как величина давления в этих сечениях будет разной. Реализация данной схемы у поставщика и потребителя требует сравнительной оценки погрешности измерений приборов контроля трёхфазной среды пульпы, установленных в различных производственных подразделениях горнообогатительных предприятий. С целью определения влияния свободного газа в объёме трёхфазного пульпового продукта у приемем следующие допущения:

- режим течения трёхфазной среды является установившимся, отсутствуют технологические потери трёхфазной среды между измерительными участками поставщика и потребителя, т.е. участок магистрального пульпопровода представляет собой герметизированный трубопровод;
- между измерительными участками поставщика и потребителя отсутствуют химические реакции, способные изменить плотность твёрдых и жидких компонентов трёхфазной среды;
- время отсчёта показаний по расходомерам поставщика и потребителя синхронизировано, интервалы времени между началом и завершением рассматриваемого измерения у расходомеров потребителя и поставщика одинаковы;
- интервал времени осреднения достаточно велик, чтобы избежать влияния пульсаций расхода и неоднородности среды;
- температура и давление трёхфазной среды между расходомером и плотномером в пределах одного измерительного участка являются постоянными величинами;
- при течении трёхфазного потока отсутствуют проскальзывания фаз друг относительно друга.

Массовый расход трехфазной среды $G_{тс}$ представим в виде суммы составляющих её компонентов: $G_{тс} = G_{тф} + G_{жф} + G_{гф}$, (1) где $G_{тф}$, $G_{жф}$ и $G_{гф}$ - соответственно массовые расходы твердой, жидкой и газовой фаз. Первые два слагаемых представляют собой массовый расход двухкомпонентного

продукта пульпы, состоящей из твердой и жидкой фаз: $G_p = G_{tf} + G_{жф}$, (2)

Согласно закона сохранения массы можно записать: $G_{тс1} = G_{тс2} = G_{тс}$, (3) где $G_{тс1}$ - массовый расход трехфазной среды у поставщика; $G_{тс2}$ - массовый расход трехфазной среды у потребителя. Далее по тексту индекс 1 относится к поставщику, а 2 - к потребителю. С учётом выражений (1) и (2), согласно равенства (3), получим: $G_{п1} + G_{гф1} = G_{п2} + G_{гф2}$, (4) Формула для определения массового расхода имеет вид: , (5) где - масса k - той фазы при i - том измерении; - интервал времени i - того измерения. Массу каждой фазы в потоке запишем в виде: , (6) где V_{ki} - объем k - той фазы при i - том измерении; - плотность k - той фазы при i - том измерении, приведенная к условиям измерений объема. Используя соотношения (5) и (6), выражение (4) запишем в виде: , (7) , (8)

Принимая условия: , (9) , (10) Для газовой фазы справедливо следующее соотношение: $= M_{гф}$, (11) Аналогично уравнению (4) и, считая, что масса трехфазной среды величина постоянная, $M_{тс1} = M_{тс2} = M_{тс}$, можно записать: $= M_{тс}$, (12) Разделив обе части уравнения (7) на объем трехфазной среды по показаниям расходомера поставщика , получим: (13) Надо заметить, что: , а , (14) где , - объемные доли пульпы и газовой фазы соответственно, в долях единицы. Левая часть уравнения (7), записанная с учётом выражений (9) и (14), примет вид: , (15) где соблюдается условие: , (16) и из которого следует выражение для объемной доли газа: , (17) Тогда, с учетом (17) выражение (15) примет вид: , (18) Здесь - плотность трехфазной среды, измеренная плотномером поставщика. Используя рассуждения, аналогичные вышеизложенным, для уравнения (8) получим: , (19) Из уравнения газового состояния имеем: , (20) где $P_{абсолютное}$ - абсолютное давление трехфазной среды, МПа. T - абсолютная температура, К. K - коэффициент сжимаемости газа, безразмерная величина, определяется по компонентному составу газа в лабораторных условиях. Для упрощения расчётов введём переменную: , (21) С учётом (21) равенство (20) принимает вид: , (22) Вычитая из уравнения (19) уравнение (18), с учетом соотношений (20) и (22) получим: (23) Уравнение (23) можно представить в виде: (24) Из тождества (12) определяем : (25) Подставляя выражения (24) в уравнение (25), получим: (26) или: , (27) где $\Delta =$ (28) В трехфазном потоке присутствует свободный газ, объём которого существенно зависит от температуры и давления, как это следует из зависимости (26). Анализ влияния свободного газа в трёхфазной среде пульпы показывает, что даже при обеспечении требуемой инструментальной точности средств измерений объёмного расхода трехфазной среды, и при исключении технологических потерь в магистральном пульпопроводе, количественно оценить разность в показаниях приборов учёта объёмного расхода двухкомпонентного продукта у поставщика и у потребителя пульпы представляет сложную задачу, особенно при отсутствии средств отбора проб газа и определения коэффициента сжимаемости и плотности газа, однако, сравнительная оценка подтверждает

факт, что измерения объёмного расхода поставщика и потребителя пульпы могут отличаться в Δ раз. Это связано с тем, что давление в магистрали поставщика существенно выше, чем у потребителя. Например, в случае когда $P_1 = 0,4 \text{ МПа}$, а $P_2 = 0,14 \text{ МПа}$, объём газовой фазы увеличивается в 2,85 раз, что в итоге приводит к существенным различиям в показаниях расходомеров-счётчиков у поставщика и потребителя.