

В последние годы в связи с реструктуризацией крупных производств и объединений на горно-обогатительных предприятиях остро встал вопрос проведения взаиморасчётов, сведения материальных балансов, оформления отчётности и определения налогооблагаемой базы, что, в свою очередь, привело к проблеме обеспечения достоверности измерений расхода и количества передаваемой и принимаемой продукции на различных стадиях производства. При этом особенные трудности возникают при измерениях количества пульпового продукта, получаемого после обогащения руды флотационным процессом и поступающего в гидротранспортную систему предприятия на последующие стадии производства. Надо заметить, что процесс флотации широко применяется в горно-обогатительной промышленности, это связано с другими методами обогащения. К основному преимуществу флотационного метода можно отнести высокую эффективность получения концентрата при низких затратах на подготовку вспомогательных материалов - реагентов и технической воды, что подтверждается обширной и многолетней отечественной и зарубежной практикой [1]. При этом возможны режимы течения, когда по технологическому трубопроводу транспортируется пульповый продукт, содержащий газовые включения. В свою очередь, газовые включения могут оказать влияние на метрологические характеристики приборов по определению расхода и плотности пульпового продукта. С этой целью во ФГУП «ВНИИР» на базе государственных первичных эталонов расходов были проведены экспериментальные исследования по оценке влияния газового фактора на дополнительную погрешность средств измерений, установленных на узлах учёта параметров пульпы. Согласно требований эксплуатационной документации обычно первичные преобразователи устанавливаются на вертикальных участках трубопроводов последовательно - плотномер, за ним расходомер. Вертикальная ориентация измерительного участка трубопровода является наиболее эффективной для точного измерения параметров пульпы и имеет ряд преимуществ, так, при вертикальной ориентации задача становится осесимметричной при этом уменьшается влияние различных перегибов линий тока на характер течения пульпы. Иначе говоря, значение любого измерения в сечении по диаметру может быть присвоено всем точкам на окружности соответствующего радиуса. Обычно на горнообогатительных производствах измерения расхода электропроводной жидкости, с целью уменьшения гидродинамических потерь и снижения воздействия абразивной среды на средства измерений, проводятся объёмным методом с помощью электромагнитного расходомера с последующим вычислением суммарного объёма пульпы и отражением результатов в периодической отчетности. Так, в производственных подразделениях ОМП применяются электромагнитные расходомеры фирм-изготовителей "KROHNE", "ABB", "Fisher - Porter" и других фирм, а для измерения плотности пульпы на пульпопроводах устанавливаются

радиоизотопные плотномеры фирм-изготовителей "Krohne", "Berthold Technologies Ltd.", "Thermo Electron Corporation" и др. Надо заметить, что в описании типа средства измерения, к примеру, фирмы-изготовителя «ABB» типа MAG-XM [2], упоминается, что расходомеры электромагнитные предназначены для измерения расхода различных электропроводных жидкостей, при этом пределы допускаемой приведенной погрешности расходомера составляют $\pm 1\%$. В описании типа средства измерения плотномера радиоизотопного жидких сред и пульпы, например "LB-444" фирмы Berthold Technologies [3], указано, что он предназначен для непрерывного бесконтактного измерения плотности жидких сред различного состава и пульп, при этом допускаемая приведённая погрешность прибора составляет $\pm 1\%$. Ориентация измерительного участка трубопровода в пространстве при этом может быть любой, однако предпочтительной является установка на вертикальном трубопроводе с направлением потока снизу вверх для снижения влияния газовой фазы в зоне измерения, при этом отмечено увеличение ошибки измерений при наличии газовой фазы в измеряемой среде. Исследования по определению влияния газовой фазы на метрологические характеристики электромагнитных расходомеров проводились на базе Государственного первичного специального эталона единицы объёмного и массового расхода воды ГЭТ 119-2010 [4] для двух типов электромагнитных расходомеров: - расходомер-счетчик электромагнитный «Взлет-ППД»; - комплекс расходомерный электромагнитный «КР-2». Как и в условиях эксплуатации, смеситель с испытуемым средством измерения были установлены на вертикальном участке трубопровода. Следует подчеркнуть, что на магистрали был установлен прозрачный участок - смотровое окно, позволяющее наблюдать структуру течения газожидкостного потока. Для всех типов расходомеров на каждой точке расхода количество подаваемого газа, выраженное в объёмном содержании в газожидкостной смеси GVF, %, варьировалось в диапазоне от 0% до 16 % от номинального расхода жидкости. На каждом значении расхода проводилось не менее трех измерений и при этом регистрировались: расход воды по показаниям эталонного расходомера, расход воды по показаниям исследуемого расходомера, время измерений, температура и давление воды, а так же параметры окружающей среды. Исследования проводились в два этапа. На первом этапе была определена относительная погрешность расходомеров на исследуемых режимах при отсутствии воздушной фазы (рис. 1). Это было необходимо, чтобы в дальнейшем построить сравнительные графики с учетом метрологических характеристик прибора для каждого значения расхода ($Re_{ж}=2,5 \cdot 10^4$; $Re_{ж}=4,4 \cdot 10^5$; $Re_{ж}=8,8 \cdot 10^5$), при этом проводилось, как было сказано выше, не менее трех измерений на каждом исследуемом режиме. Рис. 1 - Сравнительный график погрешностей расходомеров без учета влияния газового фактора. На втором этапе проводилось экспериментальные исследования влияния газовых включений на

метрологические характеристики электромагнитных расходомера марки Взлет-ППД и комплекса расходомерного КР-2. При проведении экспериментальных исследований расход газа изменялся в диапазоне $0 \div 25$ м³/ч, а режим течения жидкости, как и на первом этапе исследований, соответствовал значениям $Re_{ж}=2,5 \cdot 10^4$; $Re_{ж}=4,4 \cdot 10^5$; $Re_{ж}=8,8 \cdot 10^5$. Надо заметить, что при этом количество подаваемого газа варьировалось в диапазоне от 0 % до 19 % от номинального расхода жидкости. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 2 и 3. Как видно из рисунков, относительная погрешность исследуемых приборов существенно зависит от наличия газового фактора (с учетом погрешности прибора на этом режиме). Из графиков следует, что наличие свободного газа приводит к возникновению дополнительной систематической погрешности, так даже незначительное наличие свободного газа (2%) приводит к дополнительной систематической погрешности приборов, которая превышает относительную погрешность расходомеров в два раза (рис. 3), а при наличии в магистрали 15 % свободного газа - в четыре раза и более (рис. 2). Рис. 2 - Характеристики погрешностей расходомера Взлет-ППД, аппроксимированная линейной зависимостью, при расходах жидкости $Q_{ж1} = 0,7$ м³/ч, $Q_{ж2} = 12,5$ м³/ч, $Q_{ж3} = 25$ м³/ч Рис. 3 - Характеристики погрешностей расходомера КР-2, аппроксимированная линейной зависимостью, при расходах жидкости $Q_{ж1} = 0,7$ м³/ч, $Q_{ж2} = 12,5$ м³/ч, $Q_{ж3} = 25$ м³/ч Было также проведено экспериментальное исследование по оценке влияния газовой фазы на метрологические характеристики радиоизотопного плотномера. Исследование проводилось на Государственном первичном специальном эталоне единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011 [5] с использованием многофазного расходомера Alpha VS/Rd (Weatherford). Расходомер многофазный Alpha VS/Rd производимый фирмой Weatherford (США) представляет собой высокоточное средство для многофазных измерений на основе четырёх технологий: трубка Venturi, система акустического определения расхода Sonar, измеритель обводнённости Red Eye MP и гамма - плотномера. Надо заметить, что в сравнении с аналогами расходомер Alpha VS/RD имеет улучшенные метрологические характеристики [6]. Гамма - плотномер исследуемого многофазного расходомера был предварительно откалиброван на воду. Экспериментальные исследования проводились на тех же режимах, что и при исследованиях электромагнитных расходомеров, так при подаче в жидкую среду воздуха, газосодержание, как и прежде, изменялось в диапазоне от 0 до 19%. На рис.4 представлены результаты экспериментальных исследований, проведённых на расходомере Alpha VS/Rd. Как следует из рисунка, дополнительная погрешность зависит от газосодержания и достигает 24%. Следует заметить, что радиоизотопным плотномером можно измерять плотности жидкой фазы любого состава, необходима лишь соответствующая калибровка прибора. Рис. 4 - Относительная погрешность измерения плотности многофазного расходомера

Alpha VS/R/D откалиброванного на воде при измерении газожидкостной смеси (вода + воздух) Представленные в работе экспериментальные исследования, проведённые на базе Государственного первичного специального эталона объёмного и массового расхода воды ГЭТ 119-2010 и ГЭТ 195-2011 показали, что наличие свободного газа в измеряемой среде приводит к возникновению существенной дополнительной систематической погрешности, которой нельзя пренебречь, так увеличение расхода свободного газа от 0% до 19% от объёма номинального расхода жидкости приводит к превышению относительной погрешности электромагнитного расходомера в четыре раза и более, а погрешности гамма-плотномера увеличивается на 24%.