

Введение Основным условием потребителей элементарной серы является поставка ее в виде прочных малопористых гранул [1,2]. Удобство обращения с гранулированной серой связано с тем, что она не слеживается, сохраняет сыпучесть и не образует пыли при хранении и перевозках, легко транспортируется и дозируется. Лучшей геометрической формой хрупкой твердой серы является шар, отличающийся наиболее благоприятным соотношением массы и объема и наибольшей прочностью (благодаря исключению эффекта рычага, увеличивающего разрушающие силы). Сущность известных способов получения гранулированной серы сводится к истечению расплава серы через отверстие в виде отдельных капель, которые в процессе свободного падения охлаждаются воздухом, сырым водяным паром или струями воды. Практическая реализация этих способов требует больших капитальных затрат при строительстве грануляционных башен высотой 40-90 м, сложной системы очистки отходящих газов или пара от серной пыли, нейтрализации закисленного отработанного пара. Общий недостаток этих способов связан с трудностями поддержания стабильного режима истечения расплава серы в виде капель, что приводит к получению гранул серы неправильной формы с и большим разбросом по размерам. Например, в техническом решении [3] устройство для получения гранул из расплава серы представляет собой корпус цилиндрической формы, внутри которого расположены три камеры, разделенные двумя перегородками и снабженные патрубками: нижним для подачи пара, средним для подачи воздуха в воздушные форсунки и верхним для вывода пара. В камерах жестко смонтированы распылительные серные и воздушные форсунки и паровые трубки для обогрева распылителей серы, которые выполнены в виде трубок с лопастями, жестко укрепленными на внутреннем диаметре форсунки под углом 45° к оси трубки, выходные отверстия которых составляют 0,8-0,9 их внутреннего диаметра, при этом распылительные форсунки для серы закреплены сверху к крышке устройства, а внизу к его донной части, воздушные форсунки закреплены к верхней перегородке нижней камеры, внизу к донной части устройства, а в средней камере смонтированы паровые трубки для обогрева распылителей серы. В способе Rotoform (фирма Sandvik Process Systems) расплав серы также истекает в виде отдельных капель, падающих на охлаждаемую металлическую поверхность. Получаемые по этому способу гранулы серы имеют форму чешуек с полусферической поверхностью, которые истираются при контакте друг с другом из-за эффекта рычага, увеличивающего разрушающие силы, что приводит к образованию пожаро- и взрывоопасной дисперсной серы. В другом процессе [4], расплавленная жидкая сера поступает в диспергатор, расположенный в верхней части бака гранулятора, куда непрерывно подается вода, причем перед падением в воду струя жидкой серы в воздухе распадается на отдельные капли. Капли жидкой серы падают в воду и охлаждаются, превращаясь в гранулы. Нижняя часть бака

переходит в конус с выходным отверстием и гидрозатвором, через который пульпа, состоящая из воды и гранул серы, выводится из бака-гранулятора. Охлаждение и грануляция происходят в толще циркулирующего водяного слоя. Существенным недостатком данного процесса является то, что получаемые гранулы имеют неправильную форму и большой разброс по размерам. Нами опытным путем установлено, что при соблюдении определенных диапазонов параметров истечения жидкой серы в воду струя серы, попадая в воду, самопроизвольно распадается на частицы правильной сферической формы одного размера, которые, по мере свободного падения в слое воды, охлаждаются и кристаллизуются. Задача получения сферических гранул серы в данном случае достигается тем, что жидкая сера под напором от 900 Па до 9000 Па истекает из отверстия диаметром от 0,5 мм до 2,5 мм в виде вертикальной сплошной струи в ламинарном режиме и попадает в воду, причем расстояние между точкой истечения струи серы и поверхностью воды составляет не более 80 мм. Предварительно в стальной теплоизолированной емкости, на наружной стенке которой размещен ленточный электрический нагреватель, приготовили расплав серы с температурой 155 °С. Стальную емкость с отверстием диаметром 1,0 мм в дне установили над колонной, заполненной водой с температурой 20 °С так, что расстояние между дном емкости и поверхностью воды составило 60 мм. Затем расплав серы залили в стальную емкость с отверстием диаметром 1,0 мм в дне, предварительно нагретую до 155 °С с помощью ленточного электрического нагревателя, размещенного снаружи стенки, причем высоту слоя жидкой серы в сосуде с отверстием поддерживали 0,35 м, что соответствует напору 6200 Па. Происходило истечение сплошной струи жидкой серы из отверстия в воду и самопроизвольный распад струи серы в воде на сферические капли диаметром 3 мм, которые в процессе свободного падения в слое воды охлаждались и кристаллизовались. Твердые гранулы серы отделили от воды на металлической сетке и получили сыпучий продукт в виде сферических гранул серы диаметром 3 мм с влажностью 8,5 %. Сушку гранул до остаточной влажности 0,1 % проводили при 80 °С в электрическом сушильном шкафу. Полученная гранулированная сера по всем показателям соответствовала ГОСТ 27.1-93. По результатам испытаний полученной гранулированной серы согласно методике Канадского Института Серы на первом уровне стандартного теста на хрупкость образуется менее 0,5 % пыли. Температура жидкой серы, истекающей из отверстия, при реализации разработанного нами способа, может составлять от 120 °С до 160 °С, температура воды, в которую падает струя серы - от 10 °С до 90 °С, причем эти параметры не оказывают существенного влияния на форму и гранулометрический состав получаемого продукта. Наиболее целесообразно напор жидкой серы в пределах 900-9000 Па создавать, поддерживая высоту слоя жидкой серы в сосуде с отверстием, из которого истекает струя серы, в пределах от 0,05 м до 0,5 м. Диаметр отверстия для истечения серы должен

составлять 0,5 мм до 2,5 мм, а расстояние между точкой истечения струи серы и поверхностью воды - не более 80 мм. Установлено, что при напоре жидкой серы менее 900 Па или диаметре отверстия для истечения менее 0,5 мм струя серы, ударяясь о поверхность воды, образует плоские пластинки неправильной формы. При напоре жидкой серы более 9000 Па, диаметре отверстия для истечения более 2,5 мм или расстоянии между точкой истечения струи серы и поверхностью воды более 80 мм в получаемом продукте появляется примесь частиц серы неправильной формы и агломератов из слипшихся в процессе охлаждения и кристаллизации частиц неправильной формы. Нижний предел расстояния между точкой истечения струи серы и поверхностью воды составляет около 10 мм, что позволяет исключить соприкосновение дна емкости с расплавом серы с поверхностью воды. Разработанный нами способ изготовления серы в виде гранул близкой к сферической формы из кускового сырья или расплава может послужить основой для создания промышленной технологии грануляции серы, отличающейся существенно меньшими по сравнению с зарубежными аналогами капитальными и эксплуатационными затратами, простотой аппаратного оформления.