

При крупнотоннажном производстве хлорида калия с размерами частиц готового продукта  $0,2 \div 1,0$  мм, наиболее распространенными сушильными аппаратами, являются сушилки с псевдооживленным слоем (ПС) и трубы-сушилки (ТС) [1]. Эффективность данных аппаратов достигается за счет их работы в активных гидродинамических режимах. Основным параметром в работе сушилок ПС и ТС является скорость движения теплоносителя, определяющая гидродинамику и тепломассообмен двухфазного потока. Несмотря на то, что сушилки ПС работают в диапазоне скоростей от скорости псевдооживления до скорости близкой к скорости витания частиц среднего размера [2], а ТС при скоростях в  $1,6 \div 2,5$  раза превышающих скорость витания этих частиц [3], обмен теплом между потоками сушильного агента и материала осуществляется одним и тем же конвективным способом. Исходя из математического описания теплового баланса процесса сушки, приведенного в [1], расход сушильного агента ( $L$ ) в ходе процесса находится в прямой зависимости от количества испаренной влаги ( $G_{вл}$ ), (1) где  $x_1, x_2$  – влагосодержание теплоносителя на входе и выходе из сушильного аппарата, соответственно. Выражая расходную концентрацию материала ( $\mu$ ) через количество готового продукта ( $G_m$ ) и расход теплоносителя с учетом изменения влажности материала и теплоносителя, получаем зависимость, (2) где  $\omega_n, \omega_k, W_n$  – начальная, конечная влажность и влагосодержание материала, соответственно. Из этого уравнения следует, что расходная концентрация материала характеризует удаление влаги из материала и насыщение ей сушильного агента. Рассматривая разность влагосодержаний теплоносителя в уравнении (2) в виде отношения разности энтальпий ( $I$ ) сушильного агента к его сушильной способности по испаренной влаге ( $\Delta$ ), (3) и считая процесс сушки изобарным, уравнение (3) преобразуется к виду, (4) где  $st, sp, r_p, t_1, t_2$  – удельные теплоемкости теплоносителя и водяного пара, удельная теплота парообразования воды, начальная и конечная температура сушильного агента, соответственно. Подставляя (4) в правую часть (2), получаем выражение. (5) Сушильная способность теплоносителя по испаренной влаге ( $\Delta$ ) определяется удельными затратами тепла на: нагрев материала, испарение влаги, потери тепла в окружающую среду, (6) где  $с_{вл}, с_m, \eta, \theta_1, \theta_2$  – удельные теплоемкости влаги и высушиваемого материала, коэффициент потерь теплоты в окружающую среду, начальная и конечная температура высушиваемого материала, соответственно. Для установившегося процесса сушки, рассматривая уравнения (5) и (6) в виде единой системы, первый множитель правой части уравнения (5) можно считать некоторым коэффициентом ( $A$ ), тогда уравнение (5) принимает вид, (7) где. Таким образом, концентрация материала отражает тепловые характеристики процесса сушки. Из уравнения (7). (8) Согласно (8), при уменьшении расходной концентрации материала, при одних и тех же условиях, требуются меньшие начальные температуры сушильного агента, и, следовательно, эффективными сушильными аппаратами, с точки зрения

тепловых нагрузок, можно считать аппараты, работающие с небольшими расходными концентрациями материала при любых нагрузках по готовому продукту. Расходную концентрацию можно выразить как отношение объемных потоков материала ( $V$ ) и теплоносителя ( $V_T$ ) с определенными скоростями, т.е. через гидродинамические характеристики двухфазного потока, (9) где  $\epsilon$ ,  $u$ ,  $u_T$ ,  $\rho$ ,  $\rho_T$ ,  $S_{ap}$  – порозность взвешенного слоя, скорость, плотность материала и теплоносителя, площадь живого сечения аппарата, соответственно. Учитывая (7) и (9), получаем зависимость (10). Выражение (10) связывает основные тепловые и гидродинамические параметры процесса конвективной сушки. Определяя из (10)  $t_1$  (11) можно показать, что начальная температура сушильного агента для обеспечения одних и тех же показателей процесса будет иметь меньшие значения с ростом относительной скорости движения частиц и газа, и порозности взвешенного слоя. С другой стороны, при выборе аппарата требуется его оценка с точки зрения эффективности использования подведенного тепла. В настоящее время нет единого подхода к этой оценке. К примеру, в [2] эффективность работы сушильных аппаратов определяется по коэффициенту использования теплоты ( $\eta$ ), (12) в [3] – по доли неиспользованного тепла ( $K_{н.т}$ ), выраженной как (13). Из уравнений (12-13), следует, что при возрастании начальной температуры сушильного агента, при неизменности других температур коэффициент использования теплоты увеличивается, а доля неиспользованного тепла уменьшается. Высоким значениям начальной температуры  $t_1$  соответствует повышенная концентрация материала  $\mu$  (8), которая реализуется за счет снижения относительной скорости движения частиц или порозности  $\epsilon$  (9). На предприятиях ОАО «Уралкалий», г. Березники, Пермский край, трубы-сушилки работают при начальной температуре теплоносителя  $700 \div 800^\circ\text{C}$ , а сушилки ПС  $600^\circ\text{C}$ . Из-за этого следует, что аппараты псевдооживленного слоя находятся в менее теплонапряженных условиях и обладают более низким показателем использования подведенного тепла, чем ТС. В пневматических ТС процесс перемещения материала осуществляется в режиме, близком к идеальному вытеснению. Отсутствие продольного и радиального перемешивания снижает эффективность процесса в ТС, а для достижения равных показателей по влагоёму с единицы объема, по сравнению с аппаратами ПС, требуется значительная высота этих аппаратов (10-12 м). Основным недостатком этих аппаратов является налипание хлорида калия. В пневматических ТС – на внутренней поверхности трубы, напротив забрасывателя, в аппарате ПС – на решетке, из-за её деформации и изменения живого сечения. Однако для обоих аппаратов чаще всего причиной налипания является превышение регламентного значения начальной влажности материала. Таким образом, с учетом указанных замечаний можно сделать вывод о том, что для сушки хлорида калия возможен иной аппарат, работающий в интервале граничных температур и концентраций, характерных аппаратам ПС и ТС, и в

тоже время, конструкция которого занимала бы промежуточное положение между конструкциями рассматриваемых сушилок.