

В.И. Соболев, Е.Ф. Морозов, А.Е. Ручко

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СТАЦИОНАРНОГО СЛОЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

По существующей технологии фурфурол получают путем обработки паром смоченного кислотой сырья, находящегося в гидролизаппарате. В условиях периодического процесса сырье находится в стационарном состоянии, а пар поступает в нижнюю зону, проходит через слой сырья снизу вверх, увлекает образовавшийся фурфурол, а также другие летучие продукты и выводится из верхней зоны аппарата.

С целью сокращения времени пребывания образовавшегося фурфуrolа в аппарате и уменьшения его потерь за счет разрушения, скорость движения пара должна быть максимальной. Однако с увеличением скорости пара выше критической происходит унос частиц сырья, что усложняет последующий технологический процесс. Кроме того, при определенных гидродинамических условиях неизбежно нарушение структуры слоев сырья в аппарате, проявляющееся в образовании каналов и трещин 1, что ухудшает массообмен и условия вытеснения образовавшегося фурфуrolа. Наряду с этим за счет значительной высоты слоя сырья и существенной разницы между температурой свежего пара, подаваемого в аппарат, и отбираемых фурфурол - содержащих паров возникает градиент температур по высоте загрузки сырья. Наличие же различных температурных условий снижает степень равномерности извлечения фурфуrolа, приводит к разрушению целлюлозы в нижних слоях сырья.

Настоящее исследование посвящено изучению гидродинамических условий, возникающих при измененных направлениях потоков воздуха, устраняющих нарушение структуры сырья при повышенных скоростях. С целью создания условий, отвечающих этим требованиям, была изготовлена экспериментальная установка из органического стекла диаметром 65 мм и высотой 1200 мм, позволяющая осуществлять подачу и отбор подвижного гидродинамического агента из различных точек.

В качестве сырья использовались нефракционированные березовые опилки, а также целлолигнин, полученный после извлечения фурфурола из этого же сырья. Подвижным гидродинамическим агентом служил воздух. Расход воздуха измерялся с помощью ротаметра РС-5. Перепад давления в контрольных точках установки определялся U-образными манометрами.

Определение критической скорости воздуха для данного вида сырья при подаче его снизу вверх производилось для слоев сырья высотой от 0,15 до 1,2 м. Воздух подавался под опорную решетку с возрастающей объемной скоростью. При определенной скорости воздуха происходило видимое нарушение структуры свободно насыпанного слоя сырья. Величина линейной скорости в свободном сечении аппарата, зафиксированная в момент видимого нарушения структуры слоя сырья, а также витания и уноса отдельных его частиц, принималась в качестве критической. Аналогичные опыты проводились также при продувке целлолигнина. Значение критической скорости воздуха для различных по высоте слоев сырья, а также другие гидродинамические характеристики процесса представлены в табл. 1.

Табл. 1. Гидродинамические характеристики различных слоев березовых опилок в условиях продувки воздухом снизу - вверх

№	Высота слоя L_0 , м	Величина критической скорости воздуха $U_{кр}$, м/сек		Перепад давления, Δp кг/м ²		Отношение высоты слоя к диаметру аппарата	Величина критерия Рейнольдса	
		опилки	целлолигния	опилки	целлолигнин		опилки	целлолигнин
1	0,15	0,35	0,24	10	10	2,4	28,2	13,2
2	0,30	0,38	0,26	30	23	4,8	30,6	14,2
3	0,45	0,40	0,26	46	34	7,2	32,0	14,2
4	0,60	0,41	0,27	60	53	9,6	33,0	14,8
5	0,82	0,41	0,27	88	67	13,0	33,0	14,8
6	0,90	0,40	0,27	104	72	14,3	32,0	14,8
7	1,05	0,39	0,26	126	92	17,0	31,4	14,2
8	1,20	0,39	0,26	147	109	19,1	31,4	14,2

Как следует из таблицы, величина критической скорости воздуха зависит от высоты слоя сырья. Это объясняется тем, что при малых отношениях высоты слоя сырья к диаметру аппарата легко возникает неоднородность в распределении потока по сечению и преимущественное его прохождение по отдельным участкам сечения, где сопротивление минимально. С увеличением высоты слоя существенное значение приобретают упруго-пластические свойства сыпучей среды и прорыв сырья происходит при $\Delta P > \gamma_n L_0$ [2].

Критерий Рейнольдса рассчитывался по формуле:

$$Re = \frac{U_{кр} d_{экв} \rho}{\mu}$$

Эквивалентный диаметр частиц сырья ($d_{экв}$) определялся путем его рассева по фракциям и рассчитывался по формуле:

$$d_{экв} = \sum_i \frac{d_i}{q_i},$$

где d_i - диаметр частиц в каждой фракции сырья; q_i - относительная весовая доля частиц в каждой фракции.

Для опилок $d_{экв}$ определился равным 1,16 мм, а для целлолигнина соответственно 0,79 мм.

При изменении направления движения воздуха на обратное лимитирующий фактор, т.е. унос частиц и нарушение структуры слоя сырья устраняется.

На рис. 1 представлены кривые, характеризующие изменение сопротивления слоя сырья в зависимости от объемной скорости воздуха. При подаче гидродинамического агента и отбора его из нижних слоев сырья этот поток испытывает сопротивление, направленное против вектора скорости.

Для слоя, заполняющего участок длиной ΔL с площадью поперечного сечения S , суммарное воздействие потока $F_{полн.}$ определяется разностью сил давления потока на его границах.

Кроме воздействия на весь слой в целом, сила $F_{полн.}$ будет создавать напряжение сжатия внутри слоя. На единицу объема слоя будет действовать сила $F_{од}$, равная градиенту

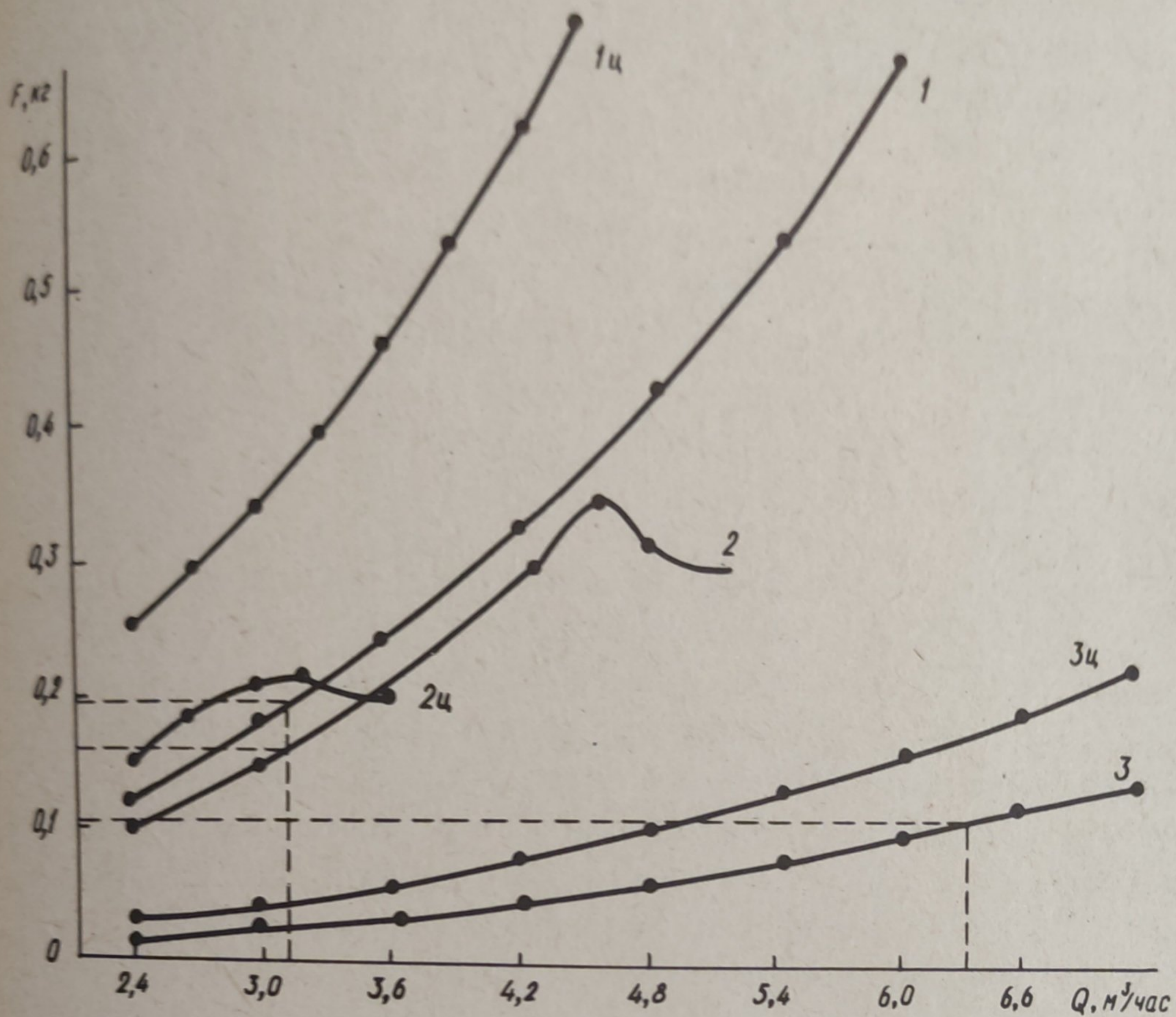


Рис. 1. Зависимость величины сопротивления слоя материала от объемной скорости воздуха: 1 ц - при продувке березовых опилок и целлолигнина сверху-вниз; 2; 2ц - то же снизу - вверх; 3; 3 ц - то же встречными потоками.

ту давления в потоке воздуха, за счет чего происходит уплотнение сырья и возрастание сопротивления слоя. При наибольшей объемной скорости воздуха, равной $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ эта величина достигает $0,675 \text{ кг}$. Характер кривой свидетельствует также о том, что при дальнейшем повышении скорости воздуха удельное сопротивление слоя будет возрастать. Для целлолигнина эта же величина удельного сопротивления достигается уже при объемной скорости воздуха $4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С целью уменьшения гидравлического сопротивления, возникающего при увеличении скорости потока, и сохранения условий, исключающих унос сырья и нарушение его структуры, общий поток воздуха разделялся на две части, из которых одна часть подавалась на верхний, а другая на нижний слой сырья. Отбор воздуха производился из средней зоны загруженного сырья. Исследование изменения удельного сопротивле-

ния, возникающего при встречном движении потоков, показало (рис. 1), что в этом случае создаются более благоприятные гидродинамические условия, позволяющие при скорости воздуха $7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ уменьшить сопротивление до $0,15 \text{ кг}$ для опилок и до $0,24 \text{ кг}$ для целлолигнина.

При одновременной подаче воздуха сверху и снизу, действующие на единицу объема слоя в зоне отбора воздуха, должны уравнивать друг друга, т.е. должно соблюдаться условие:

$$F_{\text{об.низ}} = F_{\text{об.верх}}.$$

Однако, верхний слой сырья, продуваемый воздухом сверху вниз, за счет уплотнения оказывает большое сопротивление по сравнению с нижним слоем, следовательно, условие $F_{\text{об.низ}} = F_{\text{об.верх}}$ может соблюдаться только при определенном соотношении высоты верхнего и нижнего слоев сырья.

Экспериментальное определение значений разности сил давления верхнего и нижнего потока при одновременной продувке воздухом сверху и снизу слоя высотой $1,05 \text{ м}$ показало (рис. 1), что для соблюдения равенства сопротивлений верхнего и нижнего слоев сырья отношение их высоты должно быть равным $1:1,2$.

Как было показано ранее, при продувке слоя сырья снизу вверх скорость воздуха лимитируется некоторой критической величиной, по достижении которой происходит нарушение структуры стационарного слоя. Суммарное воздействие потока на слой при скорости движения воздуха $U_{\text{кр.}} = 0,27 \text{ м/с}$, принятой в качестве критической, по формуле: $F_{\text{полн.}} = \Delta p s$, определяется величиной $F_{\text{полн.}} = 0,165 \text{ кг}$. При продувке слоя сырья сверху вниз для этой же скорости воздуха величина $F_{\text{полн.}} = 0,195 \text{ кг}$, а в случае продувки встречными потоками эта величина составляет

$$F_{\text{полн. низ}} = F_{\text{полн. верх}} = 0,11 \text{ кг}.$$

Таким образом, сравнение показателей сопротивления слоев сырья при различных схемах подачи и отбора воздуха свидетельствует о возможности существенного увеличения скорости движения парогазовой среды при встречных потоках без нарушения структуры сырья и уноса его частиц. Кроме того, одновременная подача свежего пара в верхнюю и нижнюю зо-

ну обрабатываемого сырья будет способствовать выравниванию температурного поля по высоте обрабатываемого сырья.

Л и т е р а т у р а

1. Н.П. Мельников, В.В. Иванова. Исследование гидродинамики прямого получения фурфурола из растительных материалов. - Сб. тр. ВНИИгидролиз, 19, 94 (1971). 2.
- М.Э. Аэров, О.М. Годес. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. Л., 1968.