

технологов кафедри «Екології та технології рослинних полімерів» Київського політехнічного університету України «КПІ».

Ісследовані умови експлуатації та ремонту деталей і вузлів нетрадиційного промислового транспорту установок «Камюр», «Пандія», «Бауэр» і «Дефібратор», на яких із деревного сировини (хвойні та листяні породи деревини), однолітніх рослин і опилок виготовляється целюлоза і полувцелюлоза, а також робиться папір, картон і товари хімічної промисловості.

Потребління картонно-папірної продукції на душу населення в Україні в 3 рази менше середньомірного, в 11 раз – західноєвропейського і в 19 раз – американського. По тому важливою науково-технічною задачею України є розробка ресурсозберігаючих технологій одержання целюлози і полувцелюлози із однолітніх рослин і одержання товарів хімічної продукції із вітчизняної сировини.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дейкун Н.М. Розробка технології одержання льняної целюлози для хімічної переробки: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. тех. наук: 05.17.22 Технология и оборудование хим. переработки древесины / Н.М.Дейкун. – Киев, 2005. – 22с.
2. Камель Г.И. Роторные метатели установок непрерывной варки целлюлозы / Г.И.Камель. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 160с.
3. Нечаев Г.Н. Повышение надежности и продуктивности загрузочного устройства непрерывной варки целлюлозы и полувцелюлозы: монография / Г.Н.Нечаев, Г.И.Камель. – Луганск: Из-во СНУ им. В.Даля, 2005. – 392с.

*Поступила в редакцию 18.10.2017.*

УДК 676.163.022

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор  
ИВЧЕНКО П.С., к.т.н., доцент  
ГАСИЛО Ю.А., к.т.н., доцент  
ДЬЯЧЕНКО О.А., инженер

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

#### ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА УСТАНОВКИ «КАМЮР»

**Введение.** В настоящее время в Украине на Херсонском, Измаильском и Жидачевском целлюлозно-папірних комбінатах успішно працюють установки промислового транспорту (ПТ) неперервної варки целюлози. Такіх установок в Росії – 75, в США – 150, а в світі – більше 500. Ці установки належать до нетрадиційного виду транспорту, так як вони здійснюють неперервну завантаження варочного котла, що знаходиться під високим тиском (1,2 МПа), впродовж року з допомогою щелочи (температура 150-180<sup>0</sup>). Промисловий транспорт представляє собою гідравлічну транспортно-завантажувальну систему, яка повинна забезпечувати неперервну впродовж року завантаження варочного котла деревної щепи. Будь-яка зупинка ПТ на декілька годин призводить до зниження якості целюлози і збільшенню браку товарної целюлози.

**Постановка задачі.** Аналіз літературних даних [1] в Україні і за рубежом показав відсутність чітких аргументованих досліджень фізичних процесів, що відбуваються в ПТ при русі щепи, щепи і гідросміси.

Дана стаття присвячена питанням переміщення щепи, щепи і гідросміси через кармани обертаючого ротора під дією насосів циркуляції щепи низького і високого тиску.

Метою роботи є встановлення впливу на переміщення щепи, щепи і гідросміси в ПТ насосів циркуляції щепи низького і високого тиску через кармани обертаючого ротора конічної трибосистеми (КТС).

**Результати роботи.** На основі структурно-алгоритмічної схеми і математичної моделі КТС [1, 2] всі частини установки умовно розділили на 5 характерних трас:

- 1 – механічна траса транспортування щепи і її термічна обробка (ленточний конвеєр, дозатор щепи, живильник низького тиску і пропарювальна камера). Після проходження щепи з неї виділяється скипидар і інші летючі сполуки;
- 2 – кільцева траса циркуляції щепи низького тиску (ЦЩНД) (насос, трубопровід, вільне стікання щепи, живильна труба, гідросміс в живильній трубі, кармани ротора в вертикальній площині, трубопровід);
- 3 – кільцева траса циркуляції щепи високого тиску (ЦЩВД) (насос, трубопровід, кармани ротора в горизонтальній площині, трубопровід, верхня частина варочного котла, трубопровід);
- 4 – подвійні перехрещуючі кільцеві траси ЦЩНД і ЦЩВД. Частина щепи (20-50% продуктивності насоса) послідовно переміщується по замкнутим трасам ЦЩНД і ЦЩВД;
- 5 – гідравлічна траса переміщення гідросміси (живильна труба, кармани ротора в вертикальній площині, кармани ротора в горизонтальній площині, трубопровід, верхня частина варочного котла).

Особливості процесів, що відбуваються в ПТ, розглянемо при 3-х режимах експлуатації.

**1-й режим** – підготовка ПТ до роботи (рис.1, а). На цьому етапі з 5-ти технологічних ліній установки працюють дві: 2-я – ЦЩНД і 3-я – ЦЩВД. Завантаження і транспортування щепи не виробляється. З рис.1, а видно, що 2-я і 3-я лінії працюють в автономному режимі, перехрещуються і між собою не пов'язані. Це досягається тим, що роторний живильник КТС не обертається.

В замкнутій системі ЦЩНД за допомогою насоса щепи рухається послідовно по трубопроводу, живильній трубі і карманах нерухомого ротора в вертикальній площині з постійною швидкістю і витратою щепи. Це забезпечується тим, що площа в поперечному перерізі проходних карманів обертаючого ротора КТС є величиною постійною і в будь-який момент часу визначається за формулою:

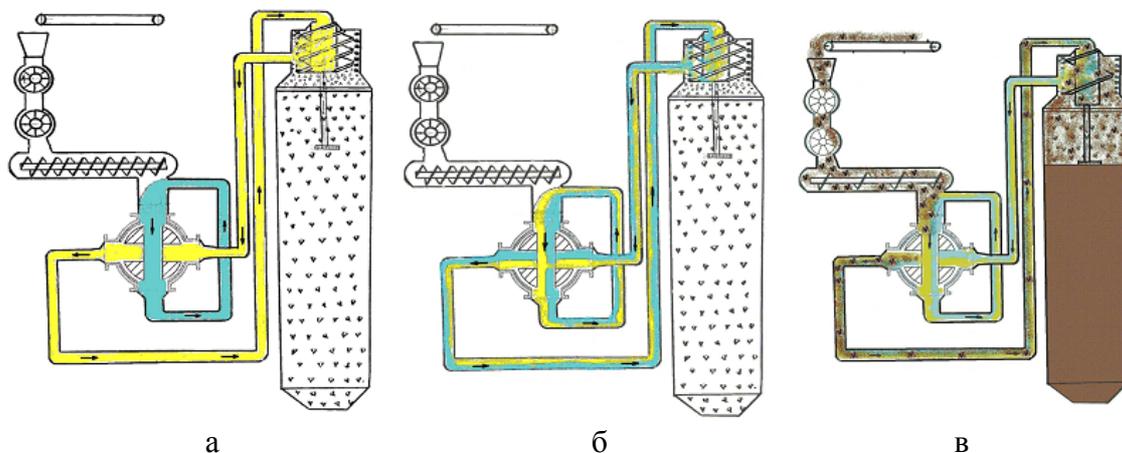
$$S = S_1 + S_2 = L_1 \cdot l_1 + L_2 \cdot l_2 = \left( \frac{L_1 \pi d_{cp}}{360^\circ} \cdot \alpha_1 \right) + L_2 \frac{\pi d_{cp}}{360^\circ} + (\alpha_1 + 45^\circ), \quad (1)$$

де  $S_1$  і  $S_2$  – відповідно площі поперечного перерізу 1-ї і 2-ї секцій, мм<sup>2</sup>;

$\alpha_1 = 45^\circ$  – кут сопряження вікон завантаження корпусу і вікон карманів ротора в вертикальній площині, градус;

$\alpha_1 + 45^\circ$  – кут повороту вікон ротора другої секції, градус. Сквозні кармани ротора в одній секції зсунуті відносно карманів другої секції на  $45^\circ$ ;

$L_1$  и  $L_2$  – длины окон загрузки по образующей ротора, м;  
 $d_{cp}$  – средний диаметр ротора, мм.



а – 1-й режим эксплуатации. Ротор ПВД не вращается;  
 б – 2-й режим эксплуатации. Ротор ПВД вращается, а дозатор щепы не вращается;  
 в – 3-й режим эксплуатации. Ротор ПВД и дозатор щепы вращаются

Рисунок 1 – Режимы работы промышленного транспорта установки шведской фирмы «Камюр»

Из уравнения (1) видно, что в одном кармане ротора вертикальной плоскости площадь сопряжения ротора и окон загрузки корпуса изменяется по синусоидальному циклу. Суммарная площадь сопряжения окон кармана ротора и окон корпуса в двух секциях в любой момент времени есть величина постоянная. Согласно работе [1] конструктивно площади двух окон корпуса по площади в два раза больше площади сечения трубы трубопровода. Таким образом, в замкнутой системе «трубопровод – питательная труба – карманы ротора» в вертикальной плоскости площадь поперечного сечения есть величина постоянная и равна  $0.32 \text{ м}^2$ , откуда скорость щелочи  $v = 0,6 \text{ м/с}$  и расход щелочи  $Q = 0.2 \text{ м}^3/\text{с}$  есть величины постоянные.

Следовательно:

- для любого положения ротора сопряжение окон карманов ротора и окон корпуса есть величина постоянная;
- расход щелочи, скорость щелочи и площадь любого сечения ЦЩНД есть величины постоянные, что упрощает расчёты расхода и скорости щелочи ТЗС.

В замкнутой системе ЦЩВД при помощи насоса щелочь движется последовательно в: 1) карманы ротора в горизонтальной плоскости, 2) трубопровод, 3) верхнюю часть варочного котла, 4) трубопровод, 5) окна корпуса ПВД.

В замкнутой системе ПТ площадь поперечного сечения на любом участке трубопровода и карманов ротора – величина постоянная. Следовательно, значение расхода щёлочи и гидросмеси по замкнутой трассе ПТ есть величина постоянная.

**2-й режим.** Ротор вращается, а дозатор щепы не вращается. Щепка не подаётся в питательную трубу (рис.1, б). При этом режиме эксплуатации за время сопряжения карманов вращающегося ротора происходит выталкивание щелочи высокого давления, поступающей из варочного котла. Для полного выталкивания щёлочи высокого давления из карманов ротора вертикальной плоскости определенный расход щёлочи низкого

давления можно выразить через кратность циркуляции щёлочи низкого давления и записать в виде уравнения:

$$N = \frac{Q_{\text{нн}} 60}{V_p n}, \quad (2)$$

где  $N$  – кратность циркуляции щёлочи низкого давления через карманы вращающегося ротора;

$Q_{\text{нн}}$  – производительность насоса циркуляции щелочи низкого давления,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_p$  – суммарная ёмкость карманов ротора,  $\text{м}^3$ ;

$n$  – число оборотов ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$\frac{60}{n}$  – время одного оборота, с.

Из анализа табл.1 и формулы (1) видно, что кратность циркуляции щелочи низкого давления зависит от: 1) производительности циркуляции щелочи низкого давления; 2) суммарной емкости карманов ротора; 3) частоты вращения ротора. Для того, чтобы вытолкнуть один объем щёлочи высокого давления из кармана ротора, необходимо, чтобы через них прошло от двух до пяти объемов щёлочи низкого давления.

Таблица 1– Характеристики потоков щёлочи, щепы и гидросмеси по трассам ПТ КТС

№ п/п	Характеристики	Частота вращения ротора, $\text{мин}^{-1}$		
		3	5	8
1	Время одного оборота ротора $t = \frac{60}{n}$ , с	20	12	7,5
2	Производительность установки, т/сутки	500	500	500
3	Полезный объём ротора $V_p$ , $\text{м}^3$	840	840	840
4	Производительность насоса ЦЩНД, $\text{м}^3/\text{с}$	0,2	0,2	0,2
5	Производительность насоса ЦЩВД $\text{м}^3/\text{с}$	0,2	0,2	0,2
6	Пропускная способность ротора, $\text{м}^3/\text{с}$	0,042	0,07	0,112
7	Кратность циркуляции щелочи через ПВД	4,76	2,85	1,785
8	Расход по замкнутым трассам ЦЩНД и ЦЩВД, % ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	17,39 (0,034)	25,9 (0,051)	25,9 (0,071)
9	Расход ЦЩНД, % ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	82,61 (0,158)	74,1 (0,13)	64,1 (0,129)
10	Расход ЦЩВД, % ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	82,61 (0,158)	74,1 (0,13)	64,1 (0,129)

Кратность циркуляции щёлочи показывает, сколько объемов щёлочи используется в кольцевой трассе ЦЩНД для того, чтобы вытолкнуть один объём щёлочи высокого давления, который поступил из трассы ЦЩВД при повороте ротора на  $90^\circ$ .

Поскольку производительность насосов ЦЩНД и ЦЩВД одинакова, то и кратность циркуляции щёлочи на этих трассах будет одинаковой.

Из анализа кратности циркуляции щёлочи через карманы вращающегося ротора видно, что производительность насоса циркуляции можно условно разделить на два потока: 1) поток щёлочи, который переходит с помощью карманов ротора из трассы ЦЩНД в трассу ЦЩВД; 2) поток щелочи, движущейся по трассе ЦЩНД.

Величина первого потока щёлочи через карманы ротора определяется по формуле:

$$Q = \frac{Q_{н.у.ш.н.д} V_p}{(N+1)V_p}, \quad (3)$$

где  $Q_{н.у.ш.н.д}$  – величина потока щёлочи, циркулирующей в двух кольцевых трассах

ЦЦНД и ЦЦВД,  $м^3/с$ ;

$V_p$  – полезный объём ротора,  $м^3$ ;

$(N+1)V_p$  – объём щёлочи, прошедшей через карман вращающегося ротора с окном загрузки корпуса.

Оставшаяся часть производительности насоса циркуляции щёлочи используется для загрузки и выталкивания щёлочи из карманов ротора. В табл.1 приведены значения расходов циркуляции щёлочи на всех участках трасс ТЗС и в карманах вращающегося ротора.

**3-режим** эксплуатации. Ротор вращается. Работает дозатор щёлочи и все 5 участков трассы ТЗС (рис.1, в). В этом режиме эксплуатации на участке от питательной трубы по трубопроводу в верхнюю часть варочного котла вместе со щелочью через карманы ротора загружается и перемещается щепка.

Продуктивность загрузки щепки карманами ротора КТС определяется частотой вращения ротора. С увеличением частоты вращения ротора от 3 до 8  $мин^{-1}$  расход транспортирования щёлочи увеличивается с 17.39% ( $0.034 м^3/с$ ) до 35.9% ( $0.071 м^3/с$ ).

Чтобы увеличить загрузочную способность КТС необходимо согласно формуле (2) увеличить производительность насосов ЦЦНД и ЦЦВД.

**Выводы.** В промышленном транспорте целлюлозно-бумажного производства можно выделить пять самостоятельных трасс: механическая трасса подготовки щепки и четыре трассы гидротранспорта, которые управляются и регулируются роторным питателем высокого давления.

Загрузочная и выгрузочная способность промышленного транспорта зависит от краткости циркуляции щёлочи через питатель и определяется: 1) производительностью насосов циркуляции щёлочи низкого и высокого давления; 2) суммарным объемом ротора; 3) частотой вращения ротора.

При отсутствии поступления щепки в карманы питателя количество щёлочи, а также объемы ее одинаковые и зависят от частоты вращения ротора.

Загрузка щепки промышленного транспорта в варочный котёл осуществляется насосом, который проходит через карманы вращающегося ротора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев Г.Н. Повышение надежности и продуктивности загрузочного устройства непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография / Г.Н.Нечаев, Г.И.Камель. – Луганск: Из-во СНУ им. В.Даля, 2005. – 392с.
2. Дослідження конічних трибосполучень у промисловому транспорті: монографія / [Г.І.Камель, В.В.Перемітько, А.В.Єршов, Р.А.Куликовський]. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. – 313с.

Поступила в редколлегию 18.10.2017.