

УДК 671.791.5

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор
ГАСИЛО Ю.А., к.т.н., доцент
ВОЛКОВ Г.П.* , к.т.н., доцент
КОСАРЕВ Е.О., магистр
КОТЛЯРОВ Н.С., магистр

Днепропетровский государственный технический университет, г. Кам'янське
*Запорожский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ В ВАРОЧНЫЙ КОТЕЛ

Введение. В 1979 году был открыт способ получения целлюлозы сульфатным способом в котлах периодического действия. С этого времени внимание специалистов было приковано к решению главной задачи – создания нетрадиционного вида транспорта, который мог бы непрерывно в течение года подавать измельченную древесину в варочный котел с давлением 1,2 МПа и температурой щелочи 160-180°C [1].

Впервые в мировой практике в Украине в 1926-1931 годах под руководством профессора Л.П.Жеребова был разработан способ нетрадиционной подачи древесной щепы в варочный котел. Для этого использовался плунжерный двухпоршневой насос с клапаном- распределителем, что позволило: 1) создать новый вид гидротранспорта высокого давления; 2) осуществлять непрерывную варку целлюлозы; 3) перерабатывать отходы сельскохозяйственного производства (полову, рапс, лен, камыш) и создавать небольшие мобильные установки производительностью 20-30 т/сутки; 5) снизить себестоимость производства целлюлозы в 5-7 раз; 6) улучшить эксплуатационные характеристики варочных котлов (устранить термоциклы) [1-3].

Используя опыт, приобретенный в Украине, шведская фирма «Камюр» предложила использовать в качестве транспортирующего устройства трубопроводную гидравлическую транспортную систему, в которой регулирование всеми технологически-

ми процессами осуществлял роторный питатель высокого давления (ПВД) двухсекционной конической турбосистемы.

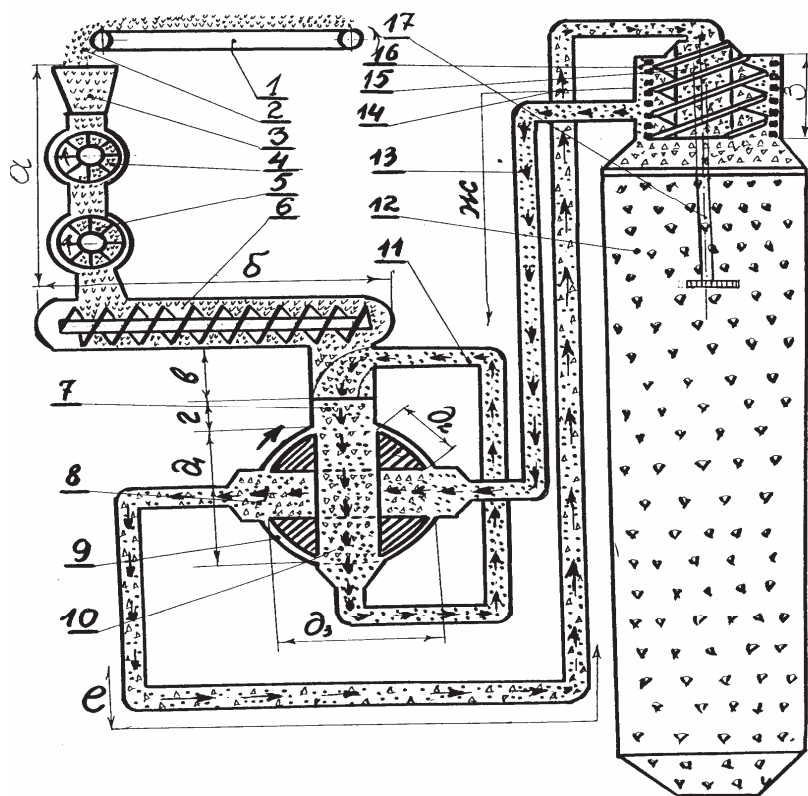
В настоящее время таких установок в мире более 500, в России – 75, в США – 150 и на них вырабатывается более 85% товарной целлюлозы.

Однако преимущества непрерывной варки целлюлозы используются не полностью. Объясняется это тем, что слабым элементом установки «Камюр» является трубопроводная гидравлическая транспортная система (ТГТС). Из-за простоев варочного котла недополучалось более 10% товарной целлюлозы.

Установлено, что трубопроводная гидравлическая транспортная система состоит из главной трассы перемещения щепы и двух вспомогательных кольцевых трасс циркуляции щелочи низкого и высокого давления, которые обеспечивают стабильную загрузку щепой варочного котла.

Все три трассы проходят через карманы вращающегося ротора, а две вспомогательные трассы изолированы друг от друга, работают в автономном режиме и перекрываются через карманы вращающегося ротора.

Анализ литературных источников показал отсутствие каких-либо разработок относительно надежности работы ТГТС и влияния ее на работу варочного котла.



- 1 – конвейер; 2 – щепа; 3 – бункер; 4 – дозатор; 5 – ПВД; 6 – пропарочная камера; 7 – питательная труба; 8 – горизонтальный карман ПВД; 9 – корпус ПВД; 10 – вертикальный карман ПВД; 11 – труба возврата щелочи НД; 12 – котел; 13 – труба возврата щелочи ВД; 14 – труба загрузки гидросмеси котла; 15 – шнек; 16 – отбор щелочи; 17 – регулятор уровня щепы в котле;

а, в, ..., ж – линейные размеры элементов установки

Рисунок 1 – Технологическая схема транспортно-загрузочной системы

носительно надежности работы ТГТС и влияния ее на работу варочного котла.

Постановка задачи. Целью работы является описание внешних и внутренних факторов, влияющих на функционирование ТГТС установки «Камюр», и раскрытие физических процессов, происходящих в ней.

Результаты работы. Для решения поставленных задач используются ТГТС, работающие в Украине, России и Болгарии. Экспериментальный материал собран более чем на 50 действующих установках производительностью 500, 750, 1000 и 1250 тонн/сутки на разных предприятиях.

На рис.1 приведена технологическая схема ТГТС, состоящая из главной трассы перемещения щепы от ленточного конвейера

до верхней части варочного котла и двух вспомогательных кольцевых трасс: трассы низкого давления (насос, трубопровод, поток струи щелочи, гидросмесь в питательной трубе, сопряжение окон корпуса и сквозных карманов ротора в вертикальной плоскости) и трассы высокого давления (насос, трубопровод, сопряжение окон корпуса и сквозных карманов ротора в горизонтальной плоскости, верхняя часть варочного котла).

Рассмотрим, какие технологические процессы происходят при транспортировании измельченной технологической щепы.

1. Механическое перемещение щепы при атмосферном давлении. Измельченная древесина (щепа) подается ленточным конвейером в бункер, из которого щепа равномерно поступает в дозатор щепы. Дозатор щепы служит для регулирования расхода технологической щепы в варочный котел.

2. Механическое перемещение щепы при низком давлении. С дозатора щепа поступает в карманы ротора питателя низкого давления (ПНД), который служит для транспортирования щепы и одновременно является запорным устройством, отделяя область низкого давления 0,1-0,15 МПа от атмосферного давления. Далее щепа поступает в пропарочную камеру, и из нее при температуре 120°C удаляется скипидар и другие летучие соединения. Разработана математическая модель пропарочной камеры [2] с оптимизацией эксплуатационных параметров. Из пропарочной камеры щепа попадает в питательную трубу, где она встречается со струей щелочи, идущей из трассы циркуляции щелочи низкого давления (ЦЩНД), и формирует гидросмесь, которая падает на поверхность гидросмеси в нижней части питательной трубы.

3. Перемещение гидросмеси низкого давления. Падающая струя гидросмеси на ее поверхность в питательной трубе формируется с одновременным выравниванием гидросмеси по высоте. Гидросмесь в нижней части питательной трубы движется с постоянной скоростью с выравненной концентрацией щепы (30%) к сопряжению окон корпуса и сквозных карманов ротора в вертикальной плоскости одной секции. Это сопряжение изменяется по закону гармонических колебаний, при этом расход гидросмеси изменяется согласно тому же закону. Сквозные карманы ротора второй секции смещены относительно сквозных карманов ротора первой секции. Это позволяет получать постоянный расход гидросмеси, проходящей через две секции роторного питателя одновременно.

Пропускная способность гидросмеси через сопряжение 12,5% окон корпуса и 10,5% окон сквозных карманов ротора определяется коэффициентом кратности циркуляции гидросмеси

$$K = \frac{Q}{V n}, \quad (1)$$

где $K = 2 \dots 5$ – кратность циркуляции гидросмеси через карманы ротора; Q – производительность насоса, м³/час; n – частота вращения ротора, мин⁻¹.

При $n = 3$ мин⁻¹ $K = 5$. Это значит, что за время сопряжения окон корпуса и карманов ротора проходят пять объемов гидросмеси. Щелочь отсасывается из сит в нижней части корпуса, а щепа остается в кармане ротора. В результате этого концентрация гидросмеси в кармане ротора возрастает с 30% до 90% при $n = 8$ мин⁻¹; $K = 2$.

Для предотвращения забивания отверстий сит щепой предложено семь режущих углов на роторе, корпусе и ситах, которые осуществляют стабильное срезание щепы, попавшей в зазор, и своевременное удаление срезанной щепы потоком щелочи из отверстий сит.

4. Перемещение гидросмеси высокого давления. При повороте кармана ротора в горизонтальное положение в нем резко возрастают давление, гидравлический удар и вибрации. Для смягчения гидроударов в кармане ротора предложено установить холодильники (вырезы) симметрично с каждой стороны окон высокого давления на корпусе на площади 10% от всей конической поверхности корпуса. Определены величина ударного давления, продолжительность фазы гидравлического удара и его продолжительность.

Пропускная способность гидросмеси через сопряжение площадью 7,5% окон корпуса и 10,5% окон сквозных карманов ротора определяется по формуле (1). При этом за время сопряжения окон насос ЦЦВД выталкивает гидросмесь из карманов двух секций ротора. В результате этого концентрация гидросмеси снижается с 90% до 30%. Полученная гидросмесь по трубопроводу поступает в верхнюю часть варочного котла, где с помощью шнека и отверстий в ситах осуществляется отбор щелочи из гидросмеси в ПВД, а в варочном котле происходит возрастание концентрации гидросмеси до 75%. При этом концентрация гидросмеси связана с дозатором щепы. При возрастании концентрации гидросмеси дозатор щепы уменьшает обороты ротора и наоборот. Пропускная способность при выгрузке карманов ротора в вертикальной плоскости в отдельном кармане ротора выполняется по нулевому синусоидальному закону, а для двухкарманного роторного питателя суммарная пропускная способность питателя определяется по формуле (2). Для характеристики пропускной способности гидросмеси используется также коэффициент повторяемости циркуляции щелочного раствора через питатель, который определяется по формуле:

$$K = Q \cdot 60 / d_{cp}^2 \cdot L \cdot n, \quad (2)$$

где d_{cp} – средний диаметр ротора, мм; L – длина окна ротора, мм.

Пропускная способность при загрузке карманов ротора питателя высокого давления зависит от резательного механизма. Резательным механизмом является острая кромка на роторе, корпусе и ситах. Зависимость площади отверстий сит, забитых щепой, от режущих кромок на роторе ситах определяется по формуле:

$$F_{cum} = -4,87 + 0,33\alpha_p + 0,43\alpha_k, \quad (3)$$

где F_{cum} – площадь отверстий сит, забитых щепой, м²; α_p и α_k – соответственно режущие углы на роторе и корпусе, град.

Выводы. 1. Установлено, что трубопроводная гидравлическая транспортная система состоит из главной трассы перемещения щепы и двух вспомогательных кольцевых трасс циркуляции щелочи низкого и высокого давления, которые обеспечивают стабильную загрузку щепой варочного котла.

2. Все три трассы проходят через сквозные карманы вращающегося ротора, две вспомогательные трассы, которые изолированы друг от друга и работают в автономном режиме, перекрываясь через карманы вращающегося ротора.

3. Главная трасса транспортирования щепы в зависимости от давления состоит из четырех участков: 1) механического перемещения щепы при атмосферном давлении; 2) механического перемещения щепы при низком давлении щелочи; 3) перемещения гидросмеси низкого давления; 4) перемещения гидросмеси высокого давления.

4. При перемещении щепы концентрация гидросмеси изменяется пять раз: 1) в струе щелочи 100%; 2) в питательной трубе со 100% до 30%; 3) в карманах ротора в вертикальной плоскости с 30% до 90%; 4) в карманах вращающегося ротора в горизонтальной плоскости с 90% до 30%; 5) в верхней части варочного котла с 30% до 80%.

5. Щепа до питателя высокого давления имеет температуру в пропарочной камере 120°C, а в трассах циркуляции щелочи низкого и высокого давления – 160-180°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непинин Ю.Н. Технология целлюлозы. Том 2 / Непинин Ю.Н. // М.: Гослесбумиздат, 1963. – 936с.
2. Нечаев Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография / Г.И.Нечаев, Г.И.Камель. – Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2005. – 392с.

3. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы: монография / Г.И.Камель. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 160с.
4. Камель Г.І. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей: навч. посіб. / Г.І.Камель, В.М.Мілютін, П.С.Івченко, А.І.Панфілов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. – 496с.

Поступила в редколлегию 23.01.2017.