

УДК 621.86

Нечаев Г. И., Камель Г. И., Яковлева А. Г.

АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

Из установок непрерывной варки с использованием вертикальных котлов в мировой целлюлозно-бумажной промышленности наиболее распространены установки типа «Камюр». В эксплуатации находятся подобного типа установки производительностью 300; 400–500; 500–600 и 800–900 т/сут. Основной технической проблемой надежной работы варочного котла являются роторные питатели высокого давления, которые непрерывно в течение 0,5–1,5 года должны подавать технологическую щепу из пропарочной камеры давлением 0,15 МПа в варочный котел с давлением 1,4 МПа и температурой 160 °С.

Для того чтобы обеспечить бесперебойную и надежную работу роторных питателей высокого давления (ПВД) «Камюр», необходимо рассмотреть следующие функции:

1. Непрерывная подача щепы в питательную трубу. Отсортированная щепа ленточным конвейером или пневмотранспортом подается через магнитный сепаратор, удаляющий из щепы механические примеси. Далее щепа поступает в дозатор, внутри которого расположен карманный ротор, подающий определенное количество щепы в питатель низкого давления (ПНД) 0,15 МПа. ПНД служит запорным устройством, обеспечивающим поддержание в пропарочной камере избыточного давления [1].

При падении щепы в питательную трубу частицы щепы, отрываясь от шнека пропарочной камеры, движутся по параболе, очертания которой определяются координатами:

$$x = V \cdot t; \quad (1)$$

$$y = 0,5gt^2 = gx^2 / (2V^2), \quad (2)$$

где V – скорость движения щепы, м/с; t – время движения щепы, с; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

2. Предварительная подготовка щепы. Поступающая из дозатора щепа в пропарочной камере, из щепы при температуре 100–120 °С и давлении 0,05–0,15 МПа удаляется воздух и выполняется пропарка щепы парами вскипания черного щелока. Выделенные в процессе пропарки и пропитки из щепы пары скипидара и другие летучие вещества отводятся для выделения из него скипидара [1].

3. Непрерывное падение потока щелочи в питательную трубу. Щелок насосом циркуляции падает под давлением собственного веса в питательную трубу. При этом поток жидкости, отрываясь от трубы в верхней части питательной трубы, движется по параболе, очертания которой определяются координатами уровней (1) и (2) [2].

4. Очистка щепы от твердых частиц. При изготовлении и транспортировке щепы происходит ее засорение твердыми частицами (песок, шлам, уголь, гравий, глина и т. д.). При воздействии скоростных потоков жидких технологических сред на поверхности деталей и узлов ПВД возникают разрушения металла вследствие ударных воздействий турбулентных струй – гидроабразивный износ. С целью снижения износа деталей и узлов осуществляется очистка щепы от твердых частиц за счет пропускания щелочи через циклоны [2].

5. Формирование пульпы (гидросмеси) и ее перемещение вниз по питательной трубе. Поступающая в верхнюю часть питательной трубы из пропарочной камеры щепа захватывается падающим потоком циркулирующей щелочи и увлекается вниз по питательной трубе. Питательная труба – переходное устройство от пропарочной камеры к ПВД, служит для обеспечения равномерной подачи пропитанной щепы в каналы ротора ПВД, осуществляемой при помощи принудительной циркуляции щелока.

При нормальной работе ПВД, когда уровень щелочи находится в нормальном положении, удельной кинетической энергии гидропотока достаточно, чтобы преодолеть удельные энергии положения и давления, и осуществлять стабильную загрузку каналов ротора щепой. Когда уровень щелочи достигает критической величины, ее недостаточно для преодоления удельной энергии положения и давления. При этом загрузка прекращается, и питатель работает вхолостую [3].

6. Загрузка в вертикальной плоскости сквозных карманов вращающегося ротора пульпой с одновременным ее разделением и отводом щелочи через нижние сита насосом циркуляции низкого давления.

Для загрузки каналов ротора используются центробежные насосы производительностью 0,2 и 0,125 м³/с, которые в технологической трассе «трубопровод – питательная труба – карманы ротора – труба» способствуют циркуляции щелочи. Щепка захватывается щелочью и заполняет карманы вращающегося ротора. Для стабильной загрузки каналов питателя площадь окон загрузки корпуса в 3,8 раза больше площади трубы циркуляции щелока.

Скорость щелочной среды в канале ротора определяется:

$$V_1 = Q / S_1, \quad (3)$$

где Q – производительность после циркуляции, м³/с; S_1 – средняя площадь сопряжения окон ротора и окон корпуса, м² [4].

7. Циркуляция щелочи низкого давления по сложной трассе «насос – труба – свободное падение струи щелочи – каналы ротора». Для оценки загрузочной способности ПВД используется показатель K кратность циркуляции щелочного раствора:

$$K = t_2 / t_1, \quad (4)$$

где t_2 – время сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса, с; t_1 – время загрузки канала ротора щепой.

$$t_1 = d_{cp} / V_1, \text{ с.} \quad (5)$$

Кратность циркуляции щелочного раствора определяется по формуле:

$$K = 15,1 / n, \quad (6)$$

где n – частота вращения ротора, мин⁻¹.

Для того, чтобы увеличить кратность циркуляции щелочного раствора через карманы ротора при тех же частотах, можно установить насос большей производительности (вместо 0,125 м³/с установить $Q = 0,2$ м³/с) [4].

8. Снижение гидроударов в каналах ротора. Гидроударом называется резкое повышение давления, возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока жидкости. Гидравлический удар представляет собой колебательный процесс, возникающий в трубопроводе при внезапном изменении его скорости. В канале ротора ПВД ударное давление может увеличиваться в несколько раз. Под ударным давлением здесь понимается резкое повышение давления в канале ротора, обусловленное внезапным подключением его к источнику высокого давления варочного котла. Для предотвращения гидравлических ударов в карманах ротора в рубашке корпуса у окон высокого давления фрезеруют полости (холодильники), величина зазора которого уменьшается от 0 до 8 мм. При такой конструкции холодильников, перед началом сопряжения окон ротора и окон корпуса, за 0,9 с в кармане ротора удается увеличить давление с 0,15 до 1,4 МПа. При этом сохраняется стабильная работа питателя [5].

9. Выравнивание давления щелочи по торцам ротора. Конструкция ротора по образующей состоит из двух секций и их сквозные карманы смещены относительно друг друга на

угол 45° . При совпадении окон сквозного кармана ротора с окном высокого давления корпуса в боковой крышке корпуса по торцам возникает избыточное давление щелочи, что обуславливает гидроудар на ротор в сторону второй боковой крышки. При сопряжении окон ротора и окон корпуса во второй секции, избыточное давление на торцы ротора будет действовать со стороны второй боковой крышки корпуса. За один оборот ротора со стороны торцевых крышек действуют четыре гидроудара: два с одной и два с другой секции. Такие циклические удары сопровождаются интенсивным разрушением подшипниковых узлов привода вращения, присадки ротора и дополнительной нагрузке на болтовые соединения боковых крышек. Для устранения гидроударов и вибраций со стороны торцев ротора, к боковым крышкам корпуса крепится труба диаметром 40 мм, которая выравнивает давление в работающем питателе.

10. Выгрузка щепы в горизонтальной плоскости из каналов ротора щелочью насоса циркуляции высокого давления. При горизонтальном положении ротора под действием насоса циркуляции высокого давления происходит выталкивание щепы из карманов ротора с образованием пульпы (гидросмеси). Площадь окон выгрузки корпуса в 2,55 раза больше площади трубы, через которую насосом осуществляется циркуляция щелочи. Пропускная способность ПВД определяется кратностью циркуляции щелочного раствора и определяется по формуле:

$$K = Q \cdot 60 / (d_{cp}^2 \cdot 0,183 \cdot L \cdot p \cdot n), \quad (7)$$

где L – длина канала ротора, м.

Из формулы видно, что кратность циркуляции щелочного раствора определяется производительностью насоса и зависит от частоты вращения ротора, и колеблется от 3,76 до 9,0, что больше чем в загрузочной линии циркуляции щелочи низкого давления [5].

11. Формирование пульпы (гидросмеси) и перемещение ее по замкнутой сложной трассе «горизонтальные карманы ротора – труба – верхняя часть варочного котла – труба».

При вытекании щепы из горизонтально расположенных каналов формируется гидро-смесь, которая под действием насоса циркуляции высокого давления направляется по сложной трассе в верхнюю часть варочного котла.

12. Разделение пульпы в верхней части варочного котла. При достижении гидросмеси верхней части варочного котла, состоящего из вертикально расположенного цилиндрического сита и вращающегося в нем вертикального винта, оборудованного указателем уровня щепы в котле. Вращающийся внутри сита винт одновременно очищает поверхность сита от опилок и мелочи, которые не должны попасть в отбираемый при загрузке щелок.

Варочный щелок, доставивший щепу в котел, отделяется от пульпы и проходит через отверстия сита, и снова транспортируется к окнам высокого давления ПВД.

13. Запорное устройство между варочным котлом (1,4 МПа) и пропарочной камерой. ПВД является запорным устройством между пропарочной камерой, в которой поддерживается низкое давление 0,05–0,15 МПа, и варочным котлом, работающим при высоком давлении 1,1–1,2 МПа. Наличие большого перепада давления между котлом и пропарочной камерой, наличие вращающегося ротора в ПВД сопровождается образованием при эксплуатации в ПВД оптимальных зазоров, через которые неизбежно прохождение щелочного раствора, что ухудшает надежность работы ПВД.

14. Подшипник скольжения при нагнетании щелочи между вращающимся ротором и рубашкой корпуса при эксплуатации. При большом перепаде давления щелочи в зазор между вращающимся ротором и корпусом нагнетается щелочь, которая позволяет рассматривать ПВД как подшипник скольжения, у которого опорный участок ротора скользит по поверхности корпуса через щелочную прослойку. Форма цапфы вала ротора ПВД – коническая. Исследование режима жидкостного трения в подшипниках основано на гидродинамической теории смазки [6].

15. Компенсация зазора в роторном питателе, за счет осевого перемещения конического ротора вглубь корпуса. Роторные питатели сконструированы таким образом, что могут при эксплуатации компенсировать износ ротора и корпуса. Величина суммарного износа ПВД равна величине возможной компенсации и определяется по формуле:

$$S = P_p \cdot K / 2, \quad (8)$$

где $S = S_p + S_k$ – суммарный износ ротора и корпуса, мм; $K = 1:20$ – конусность; $P_p = 100$ – прижим ротора, мм.

Компенсировать зазор, а, следовательно, и износ можно за счет осевой компенсации ротора, рубашки корпуса или одновременно [7].

16. Срезание щепы в роторном питателе. Так как через сквозные окна вращающегося ротора проходит гидросмесь, состоящая из щепы и щелочи, то неизбежно между ребрами сит, кромками ротора и рубашки корпуса происходит самопроизвольное срезание щепы. Плохое некачественное срезание щепы сопровождается местным износом, что приводит к досрочному снятию ПВД с технологической линии. Для снижения износа на сопрягаемых деталях ротора и рубашки корпуса вводятся оптимальные режущие углы на продольных кромках ротора, рубашки корпуса и сит [7].

17. Саморегулирование скорости гидроабразивного и механического износа ротора и корпуса. Многолетние наблюдения за работой ПВД на разных предприятиях позволяют установить, что отдельные участки ротора и рубашки корпуса подвергаются различным видам износа. Основание и средние перемишки ротора (на их долю приходится 20 % всех рабочих конических поверхностей) подвергаются коррозионно-механическому износу при граничном трении, которое выполняется один раз в сутки или неделю в течение нескольких минут. Остальные участки ротора и корпуса между окнами, основанием и средними перемишками (на них приходится 52 %) испытывают гидроабразивный износ между очередными компенсациями зазора. При эксплуатации в течение года происходит самопроизвольное регулирование скорости гидроабразивного износа и коррозионно-механического износа деталей ПВД. Каждый вид износа имеет свои особенности и требует свои материалы и техпроцессы восстановления [7].

ВЫВОДЫ

1. Установлены основные функциональные признаки, имеющие место при работе роторного ПВД «Камюр».
2. Рассмотрены технические вопросы, связанные с увеличением надежности роторных ПВД «Камюр» с учетом выполнения ими тех или иных функций.
3. Совершенствованные и углубленные знания по каждому функциональному признаку роторного ПВД «Камюр» позволяют существенно увеличить эксплуатационную надежность, срок службы и производительность загрузочного устройства варочного котла в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смоляницкий Б. З. Варка сульфатной целлюлозы / Б. З. Смоляницкий. – 3-е изд., перераб. – М. : Лесная промышленность, 1983. – 200 с.
2. Нечаев Г. И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы : монография / Г. И. Нечаев, Г. И. Камель. – Луганск : Восточноукр. Нац. Ун-т им. В. Даля, 2005. – 392 с.
3. Камель Г. И. Динамика процесса загрузки роторных питателей «Камюр» / Г. И. Камель // Придніпровський наук. вісник Машинобудування. – 1997. – № 53 (64). – С. 38–43.
4. Камель Г. И. Загрузка карманов ротора питателя «Камюр» технологической щепой / Г. И. Камель // Придніпровський наук. вісник. Технічні науки. – 1998. – № 44 (111). – С. 79–82.
5. Камель Г. И. Выгрузка карманов ротора питателя «Камюр» от технологической щепы / Г. И. Камель // Придніпровський наук. Вісник Машинобудування. – 1997. – № 24 (91). – С. 14–17.
6. Чернавский С. А. Подшипники скольжения / С. А. Чернавский. – М. : Машиностроение, 1963. – 236 с.
7. Камель Г. И. Роторный питатель установки непрерывной варки целлюлозы / Г. И. Камель. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 160 с.