

II-я группа. 50% этих поверхностей выполняют функции запорного устройства между взаимно перпендикулярными карманами вращающегося ротора. Эти поверхности отделяют область высокого давления варочного котла (1,2 МПа) от области низкого давления ПТ(0,15 МПа). Между участками 2–I; 2–III ... 4–VII вращающегося ротора и неподвижного корпуса под действием избыточного давления щелочи (1,2 МПа) через зазоры неизбежно протекание щелочи, скорость и расход которой определяются по известным формулам [1, 2].

III-я группа. 10% этих поверхностей (рис.1, 8) занимают основание и средние перемычки ротора и корпуса. На этих участках поверхность зеркальная (полированная), характерная для износа в микрозазорах. Эти участки сохраняют постоянную конусность и на этих поверхностях имеет место износ (рис.8); при граничном трении осуществляется компенсация критического зазора (ККЗ) или износ, при жидкостном трении – принудительная микротолчковая компенсация зазора (ПМКТКЗ). При ККЗ на основаниях и средней перемычке ротора и корпуса (рис.1, 8) имеют место заклинивание, схватывание и заедание ротора относительно корпуса, которые приводят к снятию питателя с эксплуатации.

Выводы. На основании проведенных исследований:

- 1 – установлены функциональные признаки, которые имеют место на сопрягаемых поверхностях конических трибосистем;
- 2 – сделаны количественная и качественная оценки видов износа на рабочих поверхностях ротора и корпуса;
- 3 – установлено влияние функциональных параметров конической трибосистемы на характер и виды износа на рабочих конических поверхностях ротора и корпуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы / Камель Г.И. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 160с.
2. Нечаев Г.И. Повышение производительности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография / Г.И.Нечаев, Г.И.Камель. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2005. – 392с.

Поступила в редколлегию 05.12.2011.

УДК 676.163.022

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор

Днепропетровский государственный технический университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРУБНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЗАГРУЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ ТИПА КАМЮР

Введение. В своей работе [1] Костецкий Б.Н. прогнозировал большое будущее использованию конических трибосистем в автоматизированных системах благодаря равномерному износу сопрягаемых конических поверхностей, корпус которых неподвижен, а ротор вращается в нем; наличие возможности компенсировать зазор между деталями конических трибосистем (КТС), образовавшийся в результате изнашивания.

Постановка задачи. В химической промышленности для транспортирования гидросмеси (30% древесного сырья и 70% щелочи с температурой 160°C) широко используются конические питатели шведской фирмы Камюр, которых в мире находится более 500 установок и которые вырабатывают более 85% целлюлозы, идущей на производство писчей бумаги, картона, пороха, клея и исходного сырья для химической промышленности.

Надежная работа роторных питателей транспортно-загрузочной системы (ТЗС) связана с состоянием поверхности сопрягаемых деталей и наличием сложных разнородных по своей сути физических процессов, которые протекают на поверхностях трения, и влиянием на эти процессы большого количества взаимосвязанных факторов, значения которых могут изменяться как во времени, так и по поверхности контакта. Отсутствие информации о взаимосвязи внешних факторов и их влиянии на эксплуатационную надежность деталей питателей КТС затормозили процессы познания закономерностей износа узлов трения КТС на стадии проектировок, эксплуатации, изготовления или ремонта [2].

Обзор литературных источников показал отсутствие анализа внешних факторов, имеющих место при эксплуатации и ремонте деталей питателя КТС.

Целью работы является описание конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров, влияющих на надежность и долговечность конических роторных питателей ТЗС.

Результаты работы. Рассмотрим систему регулирования уровня щелочи, концентрацию гидросмеси в верхней части варочного котла и особенности физических процессов, происходящих в питательной трубе.

Ротор не вращается. Работают две трассы циркуляции – щелочи низкого давления (ЦЩНД) и щелочи высокого давления (ЦЩВД) – в автономном режиме по скрещивающимся трассам сквозных карманов двухсекционного ротора [2, 3].

Расход и скорость щелочи в трассах ЦЩНД и ЦЩВД имеют постоянные значения для любого положения ротора и определяются производительностью насоса циркуляции щелочи. Это объясняется тем, что согласно проведенным кинематическим расчетам с последующей математической обработкой установлено, что площади сопряжений окон корпуса и окон сквозных карманов в каждой секции ротора подчиняются закону гармонических колебаний (колебания происходят по отнулевому циклу с определенной амплитудой; периодом, частотой и собственной частотой колебаний). Следовательно, расход и скорость щелочи через эти сопряжения тоже будут изменяться по закону гармонических колебаний только со своей амплитудой, периодом и частотой колебаний [2].

В процессе работы питателя необходимо установить оптимальные соотношения между частотой вращения ротора и скоростью поступления щелочи в карманы ротора. Из рис.1 видно, что дуговой градус сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса для двух секций (графики 1 и 2) изменяются по синусоидальному отнулевому закону в пределах нуля и 45°. Средний дуговой градус сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса (график 3) представляет линейную зависимость с отклонениями от 43 до 45° и есть величина постоянная в течение оборота.

Следовательно, и площадь окон карманов ротора и окон загрузки корпуса есть величина постоянная и определяется по формуле

$$S_1 = L \cdot d_{cp} \cdot \sin(\alpha_1 / 2), \quad (1)$$

где S_1 – средняя площадь сопряжения ротора и окон загрузки корпуса, м²;

d_{cp} – средний диаметр ротора, м;

α_1 – средний дуговой градус сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса, град.

Определим скорость щелочной среды в кармане ротора:

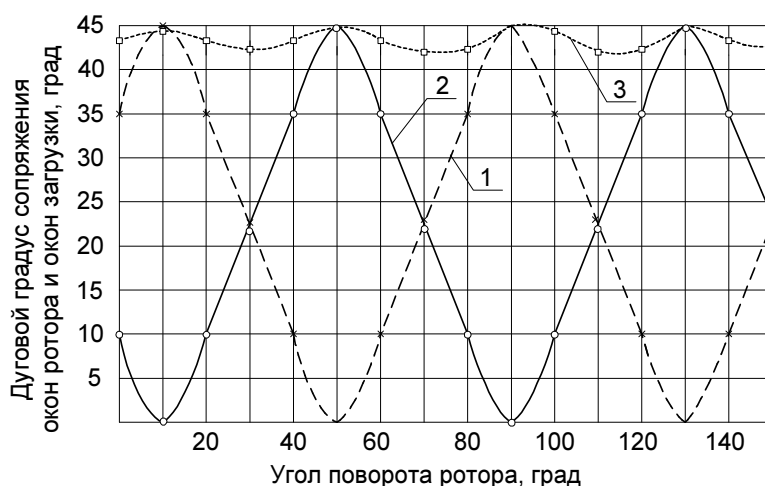
$$V_1 = Q / S_1, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где Q – производительность сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса, м³/с.

Время загрузки кармана ротора щепой

$$t_1 = d_{cp} / V_1, \quad (3)$$

где t_1 – среднее время загрузки (перемещение щелочи) в кармане ротора, с.



1 и 2 – карманы секции 1 и 2 ротора;
3 – суммарное значение дугового градуса для двух сечений

Рисунок 1 – Зависимость дугового градуса сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса при повороте ротора

Время сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса определяем из условия вращения ротора для трех значений: 3, 5 и 8 мин., что соответствует продолжительности времени $t_2 = 4,3; 2,8$ и $1,64$ секунд.

Суммарная площадь сопряжений окон корпуса и окон сквозных карманов ротора есть величина постоянная. Это достигается потому, что сквозные окна ротора одной секции смещены относительно другой секции ротора на 45° .

Площадь сопряжения в поперечном сечении сквозных карманов движущегося ротора КТС есть величина постоянная, а ее площадь в любой момент времени определяется по формуле

$$S = S_1 + S_2 = L_1 \cdot l_1 + L_2 \cdot l_2 = \left(\frac{L_1 \pi d_{cp}}{360^\circ} \cdot \alpha_1 \right) + L_2 \frac{\pi d_{cp}}{360^\circ} + (\alpha_1 + 45^\circ), \quad (4)$$

где S, S_1 и S_2 – площади поперечного сечения двух секций, 1-й и 2-й, m^2 ;

$\alpha_1 = 45^\circ$ – угол сопряжения окон загрузки корпуса и окон карманов ротора в вертикальной плоскости, град;

$\alpha_1 + 45^\circ$ – угол поворота окон ротора второй секции, град.

Автономную работу двух трасс ЦЩНД и ЦЩВД обеспечивают запорные функции 50% конических сопрягаемых поверхностей ротора и корпуса, через зазоры которых осуществляются протечки щелочи из варочного котла в питательную трубу. Для любого положения ротора длина зазора на любом из 4-х участков каждой секции корпуса изменяется по закону гармонических колебаний с амплитудой от $L_{мин}$ до $L_{мак}$ со своей частотой и периодом колебаний. Следовательно, и скорость, и расход протечек щелочи через зазоры будут подчиняться закону гармонических колебаний. Тогда средняя длина зазора, и средний расход, и скорость протечек щелочи на всех 8-и участках корпуса двух секций секторов будут величины постоянные, что и обеспечивает постоянный уровень щелочи в питательной трубе, в результате чего обеспечивается надежное регулирование и управление уровнем щелочи в питательной трубе.

Ротор вращается. При автономной работе двух трасс из каждой трассы через скрещивающиеся карманы вращающегося ротора происходит обмен определенных

объемов щелочи, величина которых зависит от частоты вращения ротора и колеблется от 20% ($n = 4 \text{ мин}^{-1}$) до 50% ($n = 8 \text{ мин}^{-1}$).

Количество щелочи, проходящей из одной трассы в другую и наоборот, изменяется от 20% до 50% и прямо пропорционально объему щепы, т.е. определяет производительность всей установки.

Для оценки загрузочной способности питателя вводится понятие кратности циркуляции щелочного раствора через сквозные карманы вращающегося ротора:

$$K = Q / VN, \quad (5)$$

где Q – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – объем кармана ротора, м^3 ;

N – частота вращения ротора, мин^{-1} .

При вращении ротора длина зазора на участках сопряжений в 1-й секции изменяется по закону гармонических колебаний – синусоидальному закону, а во второй секции – по косинусоидальному закону, но сдвинутому по фазе на 45° . Суммарная длина зазора на двух участках в разных секциях корпуса – величина постоянная, что и обуславливает постоянный расход протечек щелочи и обеспечивает постоянный уровень щелочи в питательной трубе.

Осуществляется подача щепы.

Технологический поток щепы поворачивается на 90° с вертикальной в горизонтальную плоскость, а концентрация щепы в гидросмеси изменяется по всей трассе от 100% до 30% и наоборот.

Для: 1) повышения производительности питателя; 2) повышения концентрации щепы в кармане ротора при загрузке; 3) снижения износа сит, ротора и корпуса и 4) облегчения прохождения срезанной щепы через диаметрально щели в ситах шириной 6-8 мм предложено ввести в питатель резательное устройство, состоящее из 7-и режущих кромок, располагающихся на роторе, ситах и корпусе.

При переходе кармана ротора с горизонтального положения в вертикальное в нем резко (более 10-и) возрастает давление, что сопровождается образованием гидроударов и вибраций в питателе. Рассмотрена теория образования гидроударов. В табл.1 приведены характеристики гидроударов (величина гидроудара, скорость распространения гидроудара и его продолжительность). Даны рекомендации по снижению гидроударов в питателе, что позволило увеличить надежность и долговечность ТЗС [3].

Осуществляется термическая подготовка щепы. В пропарочной камере в трубах на длине 12-16 метров трассы осуществляется пропаривание щепы при ее одновременном разогреве и вращении. Определены оптимальные режимы термической обработки щепы (скорость перемещения щепы, частота вращения шнека, температура пропаривания). При пропаривании щепы с ее поверхности удаляется скипидар и другие летучие соединения. Термическая обработка щепы позволяет совместить процесс транспортировки и техпроцесс термической подготовки щепы, что сокращает режим варки в варочном котле и качество получаемой целлюлозы [2, 3].

Анализ декомпозиции функций, выполняемых рабочими коническими поверхностями ротора и корпуса, показали, что: 1) на 40% конических поверхностей ротора и корпуса имеет место загрузка (25%) и выгрузка (15%); 2) на 50% поверхности ротора и корпуса выполняются запорные функции, т.е. отделяют область варочного котла от питательной трубы и 3) на 10% оснований и средних перемычек ротора и корпуса в процессе эксплуатации сохраняется конусность и осуществляется компенсация зазора. Эти 50% поверхности подвергаются интенсивному гидроабразивному износу за счет протечек щелочи, содержащей твердые частицы, а 10% – ударно-гидроабразивному износу при скольжении. Декомпозиция функций по коническим поверхностям деталей питателя позволяет установить оптимальные размеры ротора и корпуса [3,4].

Система регулирования уровня щелочи в питательной трубе. Из структурно-алгоритмической схемы и математической модели [2] была выявлена вспомогательная

отрицательная связь – регулируемая величина-уровень щелочи в питательной трубе. Установим составные элементы системы регулирования уровня щелочи в питательной трубе: уровень щелочи в питательной трубе – регулируемая величина; измерительное устройство для замера уровня щелочи в питательной трубе – радиоактивные датчики, световая и звуковая сигнализации; возмущающее воздействие – расход протечек щелочи из зазоров питателя от варочного котла в питательную трубу и регулирующий орган-механизм присадки ротора (уменьшает зазор в питателе).

Материальный баланс потоков щепы, щелочи и гидросмеси, поступающих и убывающих из питательной трубы: расход щепы постоянный и регулируется дозатором щепы; расход щелочи низкого давления постоянен и определяется законом гармонических колебаний в каждой секции карманов вращающегося ротора; расход гидросмеси, поступающей из питательной трубы в карманы вращающегося ротора, – постоянная величина и подчиняется гармоническим колебаниям, и расход протечек щелочи через зазоры в питателе подчиняется закону гармонических колебаний и изменяется в процессе эксплуатации.

Из всех перечисленных потоков щепы, щелочи и гидросмеси переменной величиной, зависящей от времени эксплуатации, является расход протечек щелочи, который в свою очередь зависит от величины зазора в 3-й степени [2]. В свою очередь, величина зазора зависит от износостойкости используемых материалов и от концентрации твердых частиц в щелочи. Исследования показали, что концентрация твердых частиц в щелочи зависит от объема привозной щепы. Наибольшая концентрация твердых частиц обнаружена в щелочи на Соломбальском комбинате, где в вагонах и автофургонах доставляется 100% щепы, наименьшая – на Братском комбинате, где привозится 5% технологической щепы. На каждом комбинате имеются циклоны для очистки щелочи. За сутки из циклона освобождается 100-120 кг твердых частиц (песок, глина, уголь, гравий, шлам и т.д.). Анализ качества очистки щелочи показал, что известные установки очищают 97-98% твердых частиц, с другой стороны, эти установки очищают только крупную фракцию. Неочищенными остаются твердые частицы размерами 10,15, и 50 МКМ. Поэтому в щелочи всегда имеются твердые частицы мелкой фракции, следовательно, всегда будет иметь место гидроабразивный износ.

Анализ состояния износа на рабочих поверхностях ротора и корпуса [2, 3, 4] показал, что 50% рабочих поверхностей подвергается интенсивному гидроабразивному износу больше на 50 МКМ, чем на 10% поверхностей оснований и средних перемычек ротора и корпуса. Даны рекомендации по выравниванию износа на всех участках корпуса и ротора.

Механизм присадки ротора. Для компенсации зазора в питателе используется механизм присадки ротора, который представляет собой винтовой механизм, преобразующий вращательное движение в поступательное. При повороте маховика привода на два оборота (720°) происходит осевое перемещение ротора на 2мм (2000 МКМ) при конусности 1:20, величина зазора в питателе уменьшается на 50 МКМ [2, 3].

Анализ двух схем компенсации зазора. Компенсация критического зазора (ККЗ) – патологический режим эксплуатации, рекомендован фирмой Камюр и осуществляется один раз в неделю с уменьшением зазора на 50 МКМ. При ККЗ из-за того, что износ по образующей ротора неравномерный, то на основаниях и средних перемычках ротора и корпуса имеет место граничное трение, которое сопровождается явлениями заклинивания, схватывания и заедания ротора относительно корпуса. Для облегчения процесса износа при граничном трении на этих участках производственники увеличили мощность двигателя вращения ротора с 8 квт до 50 квт. При этом начали разрушаться крепежные болты и цапфы ротора. При такой схеме компенсации более 95% всех внеплановых снятий с эксплуатации питателей происходило при выполнении компенсации критического зазора (ККЗ). Поэтому была предложена другая схема эксплуатации.

Принудительная микротолчковая схема компенсации зазора (ПМКТКЗ). ПМКТКЗ осуществляется один раз в сутки. Для уменьшения зазора в питателе на 5-6 МКМ необходимо повернуть маховик привода ротора на 90° , что равносильно перемещению ротора в осевом направлении на 250 МКМ. При этом на всех участках сопряжения ротора с корпусом имеет место жидкостное трение-скольжение и соизмеримая величина износа. На участках ротора и корпуса по секторам имеет место гидроабразивный износ, а на основаниях и средних перемычках ротора и корпуса имеет место ударно-гидроабразивный износ под действием гидроударов (в зону трения нагнетается принудительно щелочь с мелкими твердыми частицами). При ПМКТКЗ сохраняется постоянный уровень щелочи в питательной трубе, что и обеспечивает надежную эксплуатацию питателя и всей ТЗС [2, 3,4].

Схема регулирования концентрации гидросмеси в верхней части варочного котла. Рассмотрим материальный баланс щепы, щелочи и гидросмеси в верхней части варочного котла: гидросмесь, поступающая в верхнюю часть варочного котла является возмущающим воздействием на концентрацию щепы в гидросмеси; нагрузка на привод шнека – регулируемая величина; приборы для замера нагрузки на привод шнека – измерительное устройство и регулирующее устройство – дозатор щепы. При возрастании концентрации щепы в гидросмеси в верхней части варочного котла возрастает нагрузка на привод шнека, при этом срабатывает сигнал на обмотке возбуждения, и двигатель механизма вращения дозатора щепы уменьшает свои обороты – замедляется подача гидросмеси в верхнюю часть варочного котла. При уменьшении нагрузки на привод шнека, соответственно, увеличивается подача щепы дозатором щепы. Такая схема позволяет поддерживать в верхней части варочного котла постоянную концентрацию щепы в гидросмеси.

Выводы. Для повышения надежности и долговечности гидравлической транспортно-загрузочной системы необходимо использовать все параметры:

1 – конструктивные (винтовой механизм присадки; оптимальные размеры окон в роторе, корпусе, оптимальные размеры питательной трубы и пропарочной камеры, оптимальные углы в резательном механизме и т.д.);

2 – технологические (обеспечение в процессе ремонта оптимальных режущих углов на роторе, ситах и корпусе; рекомендации по выбору материалов для изготовления и сварочных материалов при ремонте деталей роторных питателей с учетом режимов термообработки и мехобработки);

3 – эксплуатационные (принудительная микротолчковая компенсация зазора; оптимальная частота вращения ротора; постоянный расход и скорость циркуляции щелочи высокого и низкого давлений; регулирование уровня щелочи в питательной трубе).

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.Н. Надежность и долговечность машин, техники / Б.Н.Костецкий., Н.Г.Носовский., Д.Н.Бершавский. – К., 1975. – 408 с.
2. Нечаев Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной целлюлозы и полуцеллюлозы: монография / Г.И.Нечаев, Г.И.Камель. – Луганск: Из-во ВНУ им. В.Доля, 2005. – 392 с.
3. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы / Камель Г.И. – М.: Лесная промышленность, 1987 – 160 с.
4. Камель Г.И. Снижение гидроударов по торцу вращающегося ротора Камюр / Г.И.Камель, А.Г.Яковлева // Сб. науч. тр.: строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2006. – Вып. 36, ч. 3. – С.29-33.
5. Камель Г.И. Рабочие параметры роторных питателей Камюр / Г.И.Камель // Бумажная промышленность. – 1989. – №7. – С.14-16.

Поступила в редколлегию 05.12.2011.