

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНИЧЕСКОЙ ТРИБОСИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

Яковлева А.Г. (*Запорожский национальный технический университет*)

Рассмотрены конструктивные, технологические и эксплуатационные параметры конической трибосистемы, направленных на увеличение надежности и долговечности промышленного транспорту установок шведской фирмы 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 которой неподвижен, а ротор вращается в нем; наличию возможности компенсировать зазор между деталями конических трибосистем (КТС), образовавшемуся в результате изнашивания.

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 промышленного транспорта (ПТ) связана с состоянием поверхности сопрягаемых деталей и с наличием сложных разнородных по своей сути физических процессов, которые протекают на поверхностях трения, и влияния 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 влияние на эксплуатационную надежность деталей питателей КТС затормозили процессы познания закономерностей износа узлов трения КТС на стадии проектировок, эксплуатации, изготовления или ремонта [2].

Анализ литературных источников показал на отсутствие описания 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 (ПТ).

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 циркуляции щелочи высокого давления (ЦЩВД) в автономном режиме по скрещивающимся трассам сквозных карманов двухсекционного ротора [2,3...5].

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, частота 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 работ видно [2...5], что дуговой градус сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса для двух секций (график 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° - есть величина постоянная в течении 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

$$V_1 = Q / S_1, \quad (2)$$

где V_1 – скорость щелочной среды в кармане ротора, м/с; Q – производительность сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса, м³.

Время загрузки кармана ротора щепой определяется

$$t_1 = d_{\bar{n}\delta} / V_1, \quad (3)$$

где V_1 – среднее время загрузки (перемещение щелочи) в кармане ротора, м/с.

Время сопряжения окон ротора и окон загрузки корпуса определяем из условия вращения ротора для трех значений 3, 5 и 8 мин⁻¹, 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 карманах движущегося ротора КТС есть величина постоянная, а ее площадь в любой момент времени определяется по формуле:

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

где S, S_1 и S_2 - площади поперечного сечения двух секций, 1-й и 2-й, мм²; $\alpha_1 = 45^\circ$ - 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_{\min} до L_{\max} 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 будет величина постоянная, 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 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

$$K = \theta / k \cdot N, \quad (5)$$

где θ – производительность насоса, м³/с; V – объем кармана ротора, м³; 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 синусоидальному закону, но сдвинутой по фазе на 45° . Суммарная длина зазора на двух участках в разных секциях корпуса величина постоянная, что и обуславливает постоянный расход протечек щелочи и уровень 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 уст-

ройство, 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 поверхностях 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 перемычках ротора и корпуса в процессе эксплуатации сохраняется конусность и осуществляется компенсация зазора. Эти 50% поверхности подвергаются интенсивному гидроабразивному износу за счет протечек щелочи, содержащие 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 гармониче-

ски колебаниям; 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. Наименьше соответственно 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. Не очищенными 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 перемычках 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 не равномерный, 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 интенсивность износа увеличилась, но 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 90^0 , 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 промышленного транспорта необходимо оптимизировать следующие 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 (в процессе ремонта обеспечить оптимальные режущие углы на роторе, ситах и корпусе; рекомендации по выбору материалов для изготовления и сварочные материалы 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).

Список литературы

1. Костецкий Б. Н. Надежность и долговечность машин, техники / Б.Н. Костецкий., Н.Г. Носовский., Д.Н. Бершавский. – Киев, 1975 г. – 408 с.
2. Нечаев Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной целлюлозы и полуцеллюлозы / Г.И. Нечаев., Г.И. Камель. – Монография. – Луганск: Из-во ВНУ им. В.Даля, 2005. – 392 с.

3. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы – М.: Лесная промышленность, 1987 – 160 с.
4. Камель Г.И. Снижение гидроударов по торцу вращающегося ротора Камюр / Г.И. Камель., А.Г. Яковлева // Сб. поуч. тр. строительство, материаловедение. Машиностроение. Вып.36. Ч.3. – Днепропетровск: ПГАСА, 2006. – 232 с.
5. Нечаев Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы / Г.И. Нечаев, Г.И. Камель // Монография. – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2005. – 392 с.

Анотація

Забезпечення надійності та довговічності конічної трибосистеми промислового транспорту

Розглянуті конструктивні, технологічні та експлуатаційні параметри конічної трибосистеми, направлених на збільшення надійності та довготривалості промислового транспорту установок шведської фірми Камюр

Abstract

Reliability and durability of tapered tribosystem industrial Transport

Considered constructive, technological and operational parameters of a conical tribosystem to increase the reliability and durability of industrial transport systems by the Swedish company Kamyur