

УДК 621.521

ПАРАМЕТРЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ РОТАЦИОННЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

А.Т. Лебедев д.т.н., профессор, А.В. Захарин к.т.н.,
Р.А. Магомедов к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный
университет», г. Ставрополь, Российская Федерация

Приведены результаты проведения многофакторного эксперимента по определению скорости изнашивания пар трения «чугун-текстолит», «фторопласт-текстолит» и «чугун-фторопласт», в зависимости от скорости их относительного перемещения, давления в зоне контакта и концентрации абразива, со смазкой и без неё.

Введение

В сельском хозяйстве и промышленности используются машины ротационного типа различных конструкций, среди которых наибольшее распространение получили ротационные вакуумные насосы пластинчатого типа (РВН) [1, 2]. По сравнению с другими устройствами, для них характерны такие преимущества как: простота конструкции, малые габаритные размеры, равномерность в работе, низкая стоимость. Среди наиболее значимых недостатков вакуумных насосов пластинчатого типа многие исследователи отмечают низкий межремонтный ресурс и снижение производительности с увеличением времени непрерывной эксплуатации [3].

Поэтому нами разработаны ряд конструктивных решений позволяющие повысить эффективность работы вакуумных насосов пластинчатого типа [4, 5]. Так как внедрение этих конструктивных решений требует применения новых материалов, то возникла необходимость в проведении сравнительных испытаний пар трения серийных насосов и модернизированных.

Основная часть

В качестве *параметра оптимизации* (функция отклика) была выбрана **скорость изнашивания** пар трения, поэтому было принято решение о проведении многофакторного эксперимента по определению наиболее оптимальных режимов работы, материалов пар трения вакуумного насоса пластинчатого типа и степени влияния отдельных параметров на износостойкость. Скорость изнашивания определяли для следующих пар трения: «чугун – текстолит» (ЧТ), «чугун – фторопласт» (ЧФ), «текстолит – фторопласт» (ТФ), как в условиях смазки (С), так и без неё (Б).

Для осуществления многофакторного активного эксперимента принят трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина для трех факторов [6]. Он относится к группе почти Д-оптимальных планов, у которых дисперсия воспроизводимости результатов эксперимента равномерно распределена по всем точкам поверхности отклика. Математическая модель второго порядка, полученная на основе таких планов, имеет одинаковую статистическую характеристику по всем направлениям.

На основании собственных теоретических исследований и анализа исследований процесса работы РВН другими авторами, приняты следующие факторы: скорость относительного перемещения v , м/с; давление в зоне контакта P , МПа; концентрация абразива C_a , %.

Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения регрессии функции отклика параметра оптимизации, представляющие собой полиномы первой степени.

$$\gamma_{\text{чТС}} = 0,2074 - 0,0048v + 0,0008P + 0,0032C_a + 0,0002vP + 0,0006vC_a \quad (1)$$

$$\gamma_{\text{чФС}} = 0,0647 - 0,0015v + 0,0006P + 0,0013C_a + 0,0001vP + 0,0003vC_a \quad (2)$$

$$\gamma_{\text{ТФС}} = 0,0488 - 0,0013v + 0,0005P + 0,001C_a + 0,0001vP + 0,0002vC_a \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{чТБ}} = 0,3604 - 0,0163v + 0,0013P + 0,0051C_a + 0,00045vP + 0,001vC_a \quad (4)$$

$$\gamma_{\text{чФБ}} = 0,1309 - 0,0046v + 0,001P + 0,002C_a + 0,0002vP + 0,0005vC_a \quad (5)$$

$$\gamma_{\text{ТФБ}} = 0,0821 - 0,0028v + 0,0006P + 0,0016C_a + 0,0001vP + 0,0003vC_a \quad (6)$$

Однако наибольшую информативность и обоснованность в принятии решения о выборе материалов в парах трения дает оценка через показатель относительной износостойкости, который представляют собой отношения:

$$k_{ij} = \frac{\gamma_i}{\gamma_j}, \quad (7)$$

где k_{ij} – показатель относительной износостойкости;

γ_i и γ_j – значения соответствующих уравнений при фиксированных значениях v , P и C_a , мкм/ч.

Концентрация абразива в парах трения работающих серийных насосов, является относительно постоянной и не превышает значения $C_a=5\pm 1\%$ [7]. Даже при тщательной очистке всасываемого воздуха происходит загрязнение зоны трения продуктами износа, которые удерживаются смазкой. Увеличение концентрации абразива в парах трения работающего насоса может происходить, но лишь кратковременно, так как он не в состоянии удержаться на поверхности детали и выносится вместе с выходящим потоком воздуха. Поэтому для анализа полученных моделей скорости изнашивания пар трения концентрация абразива принята $C_a = 5\%$.

По расчетным данным полученных с помощью зависимости (7), построены графики представленные на рисунках 1 и 2.

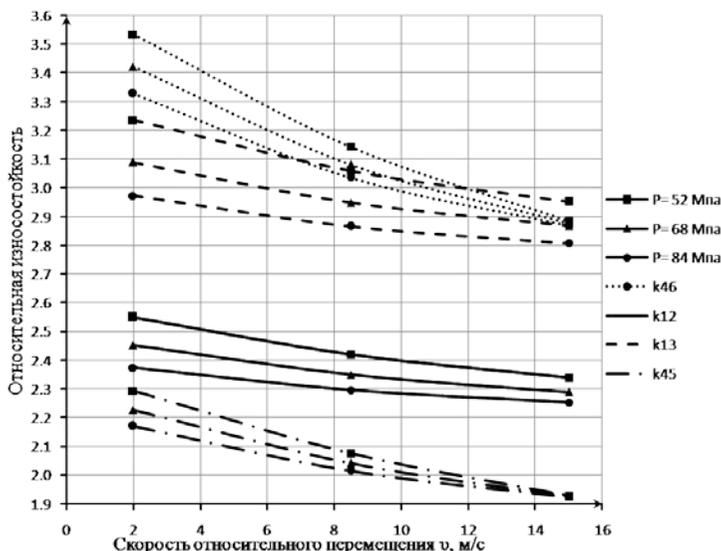


Рисунок 1 – Зависимость относительной износостойкости пар трения ЧФ и ТФ от скорости относительного перемещения v и давления P

Показатели относительности k_{12} и k_{13} выражают отношение скорости изнашивания пары трения ЧТ (1) соответственно к парам трения ЧФ и ТФ (2 и 3) со смазкой, а показатели k_{45} и k_{46} выражают отношение скорости изнашивания пары трения ЧТ (4) соответственно к парам трения ЧФ и ТФ (5 и 6) без смазки.

Показатель k_{12} характеризует во сколько раз снизится скорость изнашивания пары трения ЧТ при замене её на пару трения ЧФ. Анализ графика показывает, что износостойкость пары трения при $v = 2$ м/с повысится в 2,37...2,55 раз в зависимости от давления P , и при скорости $v = 15$ м/с повысится в 2,35...2,45 раз.

Для показателя k_{13} эти показатели при $v = 2$ м/с, будут равны 2,98...3,23, а при $v = 15$ м/с 2,91...3,07 в зависимости от давления P .

Для показателя k_{45} эти показатели при $v = 2$ м/с, будут равны 2,18...2,29 в зависимости от давления P , а при $v = 15$ м/с они все дадут повышение износостойкости в 1,92 раза.

Для k_{46} эти показатели при $v = 2$ м/с, будут равны 3,32 ...3,52 в зависимости от давления P , а при $v = 15$ м/с они все дадут повышение износостойкости в 2,98 раза.

Следует отметить следующие закономерности, выявленные в ходе анализа графиков (рис. 1):

1. Износостойкость пары трения ЧТ ниже, чем износостойкость пар трения ТФ как со смазкой, так и без неё. Это объясняется тем, что текстолит имеет волокнистую структуру, вследствие чего его рабочая поверхность в процессе изнашивания становится более мягкой «опушается» и площадь фактического контакта увеличивается, снижая удельное давление в зоне контакта.

2. Все полученные зависимости имеют не линейный характер. Это связано с тем, что в парах трения с фторопластом увеличение скорости относительного перемещения сопрягаемых поверхностей дает больший прирост скорости изнашивания, чем в паре трения ЧТ.

3. Показатели k_{12} и k_{13} менее интенсивно снижаются при увеличении скорости относительного перемещения от 2 до 15 м/с, чем показатели k_{45} и k_{46} . Связанно это с тем, что в парах трения описываемых показателями k_{12} и k_{13} присутствует смазка, которая с увеличением скорости относительного перемещения, снижает степень контактирования трущихся поверхностей, тем самым повышая их износостойкость.

4. Влияние давления для показателей относительности k_{12} и k_{13} пар трения со смазкой, с увеличением скорости до 15 м/с более значимо, чем для показателей пар трения без смазки k_{45} и k_{46} . Объясняется это тем, что в парах трения со смазкой ЧФ и ТФ смазка выравнивает контактирующие поверхности, разделяя их, что в совокупности, с повышением давления, еще больше увеличивает площадь их фактического контакта, компенсируя её негативное влияние на износостойкость. В парах трения без смазки, негативное влияние давления ни чем не компенсируется, поэтому увеличение давления интенсифицирует процесс изнашивания, тем самым снижая относительную износостойкость.

Показатели k_{14} , k_{25} , k_{36} выражают отношение скорости изнашивания пар трения со смазкой (1, 2 и 3) соответственно к парам трения без неё (4, 5 и 6).

На рисунке 2 построены зависимости коэффициентов k_{14} , k_{25} , k_{36} от скорости относительного перемещения v и давления P при концентрации абразива $C_a = 5\%$ для изучаемых пар трения.

Показатель k_{14} характеризует во сколько раз повысится скорость изнашивания пары трения ЧТ без смазки. Анализ графика показывает, что износостойкость этой пары трения при скорости $v = 2$ м/с снизится на 38,5%, а при скорости $v = 15$ м/с снизится на 26...29%, в зависимости от давления.

Показатель k_{25} характеризует пару трения ЧФ и показывает, что износостойкость этой пары трения при скорости $v = 2$ м/с снизится на 43,5...45%, в зависимости от давления, а при скорости $v = 15$ м/с снизится на 39%.

Коэффициент k_{36} характеризует износостойкость пары трения ТФ, и при концентрации абразива $C_a = 5\%$ и скорости $v = 2$ м/с он снизится на 31...33%, в зависимости от давления, а при той же концентрации абразива и скорости $v = 15$ м/с снизится на 28%.

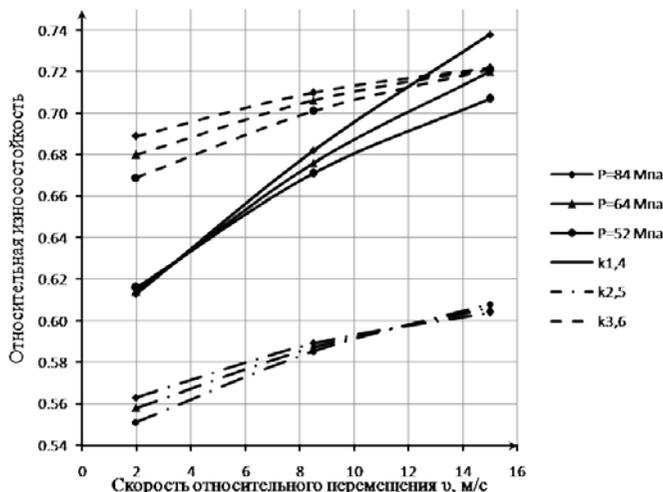


Рисунок 2 – Влияние смазки в парах трения ЧТ, ЧФ и ТФ на относительную износостойкость

Следует отметить следующие закономерности, выявленные в ходе анализа графика (рис. 2):

1. Отсутствие смазки оказывает максимальное влияние (39...45%) на снижение относительной износостойкости в паре трения ЧФ. Это связано с тем, что при отсутствии смазки, неровности на поверхности чугуна выступают в роли «пилы», стачивая поверхность более мягкого фторопласта, а в присутствии смазки поверхность чугуна выравнивается, снижая скорость изнашивания.

2. Все полученные зависимости имеют прогиб (не прямолинейны). Это связано с тем, что в парах трения со смазкой увеличение скорости относительного перемещения сопрягаемых поверхностей дает больший прирост скорости изнашивания, чем в парах трения без смазки (в рассматриваемом диапазоне скоростей), из-за удержания абразива слоем смазки, который повышает скорость изнашивания контактирующих поверхностей.

3. В парах трения с фторопластом относительная износостойкость повышается менее интенсивно с ростом скорости, чем в паре трения ЧТ, из-за того, что увеличение скорости перемещения деталей уменьшает количество упругих деформаций в фторопласте, увеличивая тем самым износ поверхности.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что пары трения ЧФ и ТФ имеют меньшую скорость изнашивания по сравнению с парой трения ЧТ в среднем со смазкой в 2,3 и 2,9 раз соответственно, и без смаз-

ки в 2 и 3,1 раза для всех рассматриваемых режимов. Использование материала фторопласт-4 является перспективным в качестве материала для поверхностей пар трения РВН.

Поэтому в качестве материала для изготовления торцевой пластины нами предлагается использовать фторопласт-4.

Литература

1. Мжельский, Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок / Н.И. Мжельский. — М.: Машиностроение, 1974. - 151 с.

2. Лебедев А.Т. Вакуумные насосы: достоинства и недостатки / А.Т. Лебедев, А.В. Захарин, Р.Д. Искендеров // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012/ Сборник научных трудов SWorld / Международная научно-практическая конференция - №7 -2012. с. 77-81.

3. Лебедев А.Т. Надежность и эффективность вакуумных насосов: монография./ А.Т. Лебедев, А.В. Захарин // Ставрополь, 2011. – 121 с.

4. Пат. 43043 Российская Федерация, F04C18/344. Ротационный пластинчатый компрессор [Текст] / А.Т. Лебедев, М.А. Красников, П.А. Лебедев [и др]. - №2004125976/22; заявл. 30.08.2004; опубл. 27.12.2004. Бюл. №36. - 4 с.

5. Пат. 2333392 Российская Федерация, F04C18/344 (2006.01). Ротационный пластинчатый компрессор [Текст] / Лебедев А.Т., Захарин А.В., Слюсарев А.С. [и др.]. – № 2007108890/06 ; заявл. 09.03.2007 ; опубл. 10.09.2008. Бюл. № 25. – 5 с.

6. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.

7. Лебедев А.Т. Надежность и эффективность вакуумных насосов: монография./ А.Т. Лебедев, А.В. Захарин // Ставрополь, 2011. – 121 с.

Abstract

Results of multivariate experiment to determine the speed of wear of friction pairs "iron-PCB", "Teflon-PCB," and "iron-Teflon", depending on the speed of the relative movement, the pressure in the contact zone and the concentration of the abrasive, with a lubricant and without.