

и землеройные машины/А. Д. Далин, П. В. Павлов. – М.: Сельхозгиз, 1950. – 183 с.

6 Львов Е. Д. Теория трактора/Е. Д. Львов. – М.: Машгиз, 1960. – 235 с.

7 Возделывание сельскохозяйственных культур по

зубы и стерновым фрезами с использованием агрегата на базе вертикально-роторной борона с рабочими органами каплевидной формы: отчет о НИР: 20053200/Бел. гос. с.-х. акад.: рук. Добышев А. С.; исполн. Зубиков Ф. Ф. [и др.]. – Горки, 2005. – 65 с.

УДК 637.116:621.65

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 9.10. 2006

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРАБОТКИ ЛОПАТОК РОТАЦИОННОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ

М.В. Колончук, инженер (РУП «Минскэнерго»)

Аннотация

Рассматривается вопрос ускорения приработки подвижных сопряжений ротационных вакуумных насосов при капитальном и текущем ремонте. В настоящее время кромку лопатки вакуумного насоса обрезают под углом 45°, поэтому приработка вакуумного насоса требует определенного времени и вызывает неравномерный износ корпуса. Исследованы закономерности износа лопаток ротационного вакуумного насоса. Предложена технология подготовки кромок лопаток, обеспечивающая качество приработки поверхностей трения и исключающая необходимость предэксплуатационной обкатки вакуумных насосов. Приводится методика проведения испытаний, математического обоснования и расчета радиуса верхней кромки лопаток. Материалы статьи полезны для эксплуатационников.

Введение

Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов текущего и капитального ремонта вакуумных насосов повышает их надежность и долговечность. Каждый новый и отремонтированный вакуумный насос подвергается обкатке с целью проверки качества сборки и приработки подвижных сопряжений. Выявлено, что качество сборки насоса следует проверять после достижения рабочей температуры 368 К (95°C), соответствующей температуре рабочего режима при эксплуатации, в течение максимального прогресса насоса – 20 минут [1]. Если сборочные зазоры в подвижных сопряжениях меньше или больше допустимых значений, то при рабочих температурах происходит заклинивание деталей или снижаются параметры насоса ниже паспортных значений. Например, при установлении осевого зазора между ротором и крышками и зазоров между лопатками и крышками выше допустимых производительность насоса будет ниже номинальной. Проверка предельного остаточного давления (максимального вакуума) позволяет оценить точность установки радиального зазора между ротором и корпусом в месте их наибольшего сближения. При увеличении выше допустимых пределов зазоров между лопатками и пазами ротора возрастают шум и вибрация. Нагрев насоса происходит за счет тепла от работы сжатия воздуха и трения лопаток о корпус и в пазах ротора. Поэтому нагрев деталей насоса ускоряют уменьшением остаточного давления до 11–13 кПа.

Продолжительность и качество приработки вакуумных насосов определяют нагрузочный, скоростной и тепловой режимы, вид и расход применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. Длительность обкатки вакуумных насосов составляет более 56 часов, расход смазочно-охлаждающей жидкости (5%-го водного раствора эмульсола ЭТ-2) составляет 150 граммов в час [1]. В реальных условиях все действующие факторы изменяются одновременно. Поэтому получаемый результат является итогом действия различных факторов. Окончание приработки определяется сравнением основных параметров насоса при установленном тепловом режиме с паспортными значениями. Очевидно, что критерий окончания приработки не установлен. Поэтому, несмотря на практическую осознанность технологий текущего и капитального ремонта вакуумных насосов, качество остается низким. Средний межремонтный ресурс насосов не превышает 60% доремонтного ресурса. В качестве критерия окончания приработки может служить форма приработанной кромки лопатки насоса, так как из подвижных сопряжений ротационных вакуумных насосов прирабатываются только две детали – лопатка и корпус. В период приработки трудных сопряжений происходит интенсивное изменение шероховатости и геометрии поверхностей деталей в результате физико-химического взаимодействия и механического зацепления микронеровностей. При этом необходимо установить действующие силовые факторы и выявить закономерности износа наклонных лопаток вакуумных

ротационных насосов, а также максимальное снижение продолжительности приработки пластинчатого вакуумного насоса. Цель работы – комплексные исследования по оценке прирабатываемости деталей подвижных сопряжений ротационных вакуумных насосов. В частности, задача состояла в том, чтобы, используя методы планирования эксперимента, определить оптимальные режимы и продолжительность приработки вакуумных насосов при текущем и капитальном ремонте с учетом конструктивного фактора, построив линейные функции и оценив значимость режимных факторов.

Основная часть

На экспериментальной установке проведено исследование износостойкости лопаток изготавливаемых из конструкционного текстолита ПТ-8, сорт 1 ГОСТ 5-78 и корпуса, изготавливаемого из серого чугуна СЧ-21 ГОСТ 1412-79. Установлено, что износ корпуса в зонах, прилегающих к всасывающему и выхлопному окнам, имеет волнообразный вид, определяемый органолептическим способом. Волнистость представляет собой периодически повторяющиеся возвышения и впадины с относительно большими шагами. Длина волны составляет 3,5–9 мм. При этом волнообразный износ поверхности цилиндра свойственен насосам с отлаженной подачей смазочного масла. По мере уменьшения толщины лопатки, увеличения эксцентриситета и величины вакуума волнообразный износ корпуса возрастает. Он зависит от частоты вращения ротора, вида смазки, материала лопаток, положения пазов в роторе и направления вращения.

Насос с поврежденной внутренней поверхностью корпуса характеризуется повышенным шумом и повре-

женными характеристиками. Исследования показывают, что износ лопаток происходит по дуге определенного радиуса. Радиус дуги верхней кромки лопатки уменьшается по мере износа ее по толщине в пазах ротора. Опытные значения радиусов закругления, полученные путем увеличения съемки фотографий торцов работавших лопаток, выявили интервал их значений, равный 12–20 мм. Период окончательной приработки составляет 150–200 часов.

Поиск рационального процесса приработки заключался в том, чтобы после небольшого числа опытов найти такое сочетание режимов обкатки, которое оптимизировало бы показатели качества приработки вакуумных насосов. На основании существующей информации и из числа факторов, оказывающих влияние на приработку вакуумных насосов, были выделены пять наиболее существенных – частота вращения ротора (c^{-1}), величина остаточного давления во всасывающей полости (кПа), расход масла (г/ч), продолжительность испытания (мин) и кривизна верхней кромки лопатки ($мм^{-1}$).

Кривизна кромки лопатки определялась аналитически с учетом параметров – радиуса (внутреннего) корпуса R , толщины лопатки S , эксцентриситета e , радиуса ротора r и угла между средней плоскостью лопатки и радиусом ротора ψ (рис. 1, а). Для этого рассмотрена лопатка, касающаяся корпуса в точке C (рис. 1, б). Перпендикуляр из точки C на прямую, проходящую через центр ротора O и середину радиальной лопатки, равен BC . Поворот лопатки на некоторый угол вокруг точки касания с корпусом C позволит определить радиус закругления лопатки в одной точке касания для различных углов ее наклона. В новом положении точка B попадет в точку A . Следовательно, $BC = AC$. Учитывая, что $OE = r$, получаем $r \cdot \sin \psi \approx \rho \cdot \sin \angle EAO$. Откуда, $\sin \angle EAO = (r/\rho) \sin \psi$. Из треугольника DAC : $\angle DAC = \pi/2 - \angle EAO$. Тогда $DC = AC \cdot \cos \angle EAO = BC \cdot \sqrt{1 - (r \sin \psi)^2 / \rho^2}$. Таким образом, после наклона пластины перпендикуляр из точки касания на прямую (через центр пластины) уменьшается в $\sqrt{1 - (r \sin \psi)^2 / \rho^2}$ раз. $KC = R$, $OK = e$.

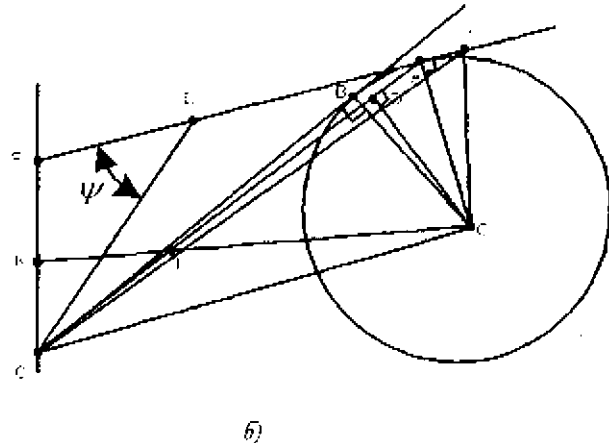
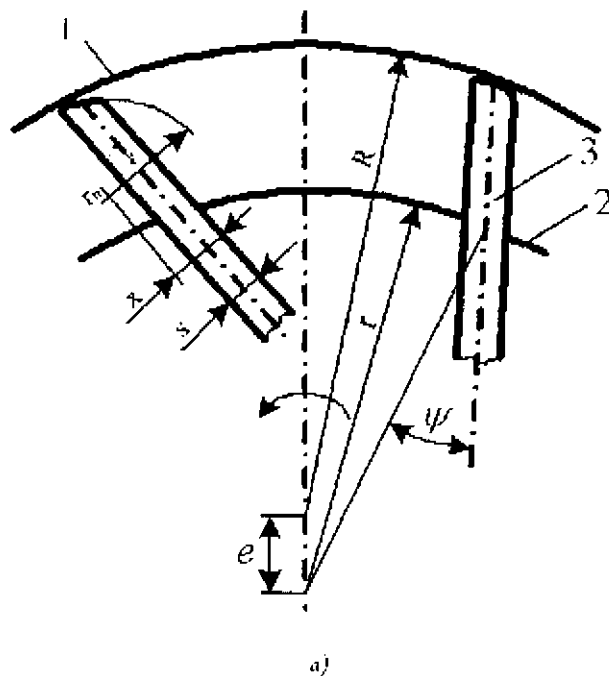


Рис. 1. Схемы расчета радиуса дуги кромки лопатки: а) – кинематическая; б) – геометрическая

Из треугольника OKJ : $(R-r_n)/\sin\varphi = e/\sin\angle KJO$.
Имеем также $\angle KJO = \angle DJC$, $\sin\angle DJC = CD/r_n$. Зная,
что $BC = (S/2) \cdot \sin\varphi$, а $(r/\rho) = \varepsilon$, получаем
 $r_n = R \cdot S / \left[\left(2e / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \psi} \right) + S \right]$ и $X = (r_n r / R) \sin \psi + S/2$.
Крайняя точка, находящаяся на прямой, проходящей
через середину лопатки, находится при ее повороте не в
точке A , а в точке H . Поэтому радиус закругления на-
клонной лопатки равен $r_n = R \cdot S / \left[\left(2e / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \psi} \right) + S \right]$,
где $(r/R) = \varepsilon$.

Для пластинчатого вакуумного насоса с радиусом
корпуса $R = 73$ мм, радиусом ротора $r = 61,5$ мм и
толщиной лопатки $s = 6$ мм построена зависимость r_n
и X от угла ψ (рис. 2).

Площадь контакта лопатки с корпусом насоса
перемещается по поверхности ее ребра (рис. 3). Послед-
нее свидетельствует о том, что лопатка контактирует
с корпусом по некоторой полоске, ширина которой
определяет напряжение смятия в месте контакта.

Исследование явлений с таким количеством дей-
ствующих факторов традиционными методами требует
большого числа опытов. Проведение исследований с при-
менением метода дробных реплик от полного факторного
эксперимента сокращает число опытов, позволяет стати-
стически оценить как сами величины, так и значимости
влияния каждого фактора и, в конечном итоге, позволяет
построить математическую модель в виде полинома [2]. В
теории планирования эксперимента для обозначения дроб-
ных реплик применяют условное обозначение 2^{k-p} (где k -
число факторов в эксперименте; p - число эффектов,
которые смешаны с эффектами взаимодействия; 2 - число
уровней варьирования). Для решения поставленной задачи
был составлен план эксперимента (табл. 1), в котором
были определены интервалы и уровни варьирования
факторов. В качестве функций отклика приняты два
показателя, характеризующие состояние насоса после
приработки: время выбега ротора (y_1) (то есть время с
момента отключения насоса до полной остановки ротора) и
износ лопаток (y_2) (табл. 1). Величина вакуумметрического
давления регулировалась индикатором производительности
КИ-4840, а быстрота действия вакуумного насоса
измерялась газовым счетчиком. Степень износа лопаток
определяли взвешиванием, а волнистость корпуса, —
нутромером.

Задача эксперимента сводилась к тому, чтобы опре-

1. Интервал и уровни варьирования режимных факторов при проведении дробного факторного эксперимента

Интервал варьирования и уровень факторов	Частота вращения ротора, c^{-1}	Вакуумметрическое давление, кПа	Кривизна кромки лопатки, mm^{-1}	Расход масла, г/ч	Продолжительность испытаний, мин
Обозначение факторов	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Интервал варьирования Δx_i	6	20	0,01	10	40
Нижний уровень $x_i = -1$	12	30	0,05	10	20
Верхний уровень $x_i = +1$	24	70	0,07	30	100

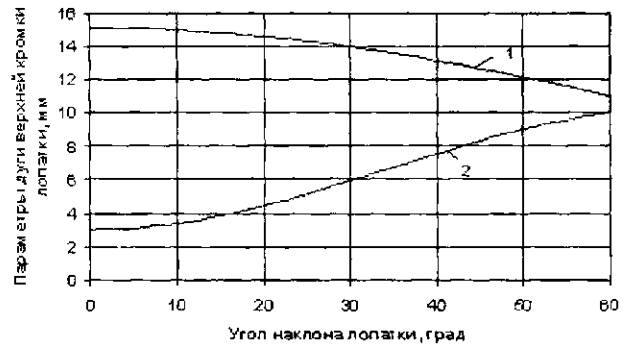


Рис. 2. Параметры закругления верхней кромки лопатки для различных углов наклона: 1 — r_n ; 2 — X

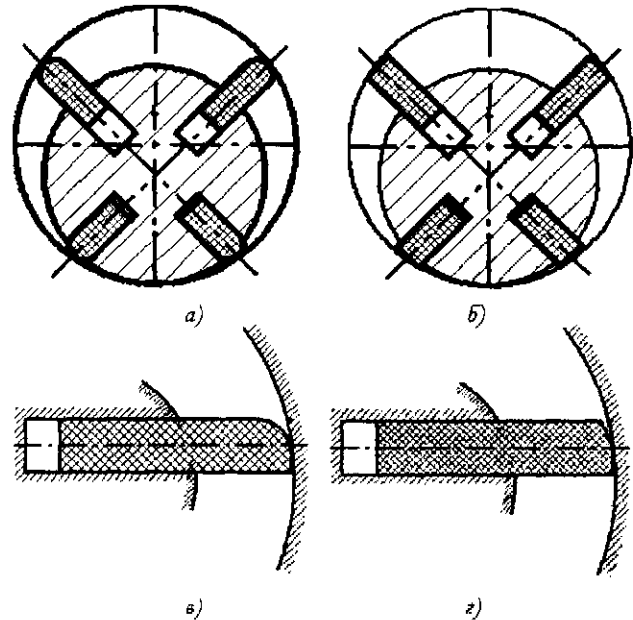


Рис. 3. Перемещение площадки контакта лопаток: а) — радиальная — до приработки; б) — радиальная — после приработки; в) — наклонная — до приработки; г) — наклонная — после приработки

делить режимы приработки, обеспечивающие максимальное время выбега ротора при минимальном износе лопаток. В полном факторном эксперименте 2^3 два из эффектов взаимодействия ($X_1 \cdot X_2$, $X_1 \cdot X_3$, $X_2 \cdot X_3$, $X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$) заменены четвертым ($X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$) и пятым факторами ($X_5 = X_2 \cdot X_3$). Получили $1/4$ реплику от полного

2. Матрица планирования дробного факторного эксперимента 2^{5-2} в кодовых обозначениях переменных

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	y_n	Y_n
1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	4,2	2,1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	3,9	1,7
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	3,6	0,2
4	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	3,5	0,2
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	5,3	0,4
6	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	5,5	0,4
7	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	5,5	1,9
8	+1	+1	+1	+1	+1	+	+1	+1	4,9	1,6

факторного эксперимента 2^5 , то есть план типа 2^{5-2} . Матрица планирования этой реплики представлена в табл. 2. Знаки «+» и «-» в матрице планирования соответствуют верхнему и нижнему уровням каждого из факторов.

В целях исключения систематических ошибок опыты были рандомизированы, то есть проводились в случайной последовательности. Порядок проведения опытов составляли по таблице равномерно распределенных случайных чисел. Для компенсации влияния случайных погрешностей каждый опыт повторяли 3 раза. Для каждой строки матрицы планирования по результатам параллельных опытов определяли среднее арифметическое значение функций отклика Y_{cp} . По результатам эксперимента определяли значения коэффициентов в уравнениях регрессии времени выбега y_1 и износа y_2 .

$$y_1 = 3,675 - 0,1x_1 - 0,175x_2 + 0,75x_3 - 0,125x_4 - 0,0375x_5 - 0,075x_1x_2 - 0,0125x_1x_3 - 0,0125x_1x_4 - 0,0125x_1x_5 - 0,0125x_2x_3 - 0,0125x_2x_4 - 0,0125x_2x_5 - 0,0125x_3x_4 - 0,0125x_3x_5 - 0,0125x_4x_5$$

Коэффициенты чувствительности, характеризующие влияние различных факторов на параметры оптимизации, определяли по формуле $A_i = a_i / \Delta x_i$ (где Δx_i - интервал варьирования). Для времени выбега ротора $A_1 = 0,1$; $A_2 = 0,175$; $A_3 = 0,75$; $A_4 = 0,125$, а износа лопаток $A_1 = -0,0875$; $A_2 = -0,0875$; $A_3 = 0,7625$.

3. Результаты производственных испытаний вакуумных насосов УВБ 02.000, приработанных по разработанным и существующим режимам

Наименование показателей	Единицы измерения	Режим приработки	
		Применяемый	Разработанный
Кривизна верхней кромки лопатки		Срез под углом 45°	Дуга радиусом 15 мм
Потребляемая мощность при остаточном давлении 48 кПа	кВт	4,3	3,8
Производительность насоса	м³/мин	1,10	1,14
Предельное остаточное давление	кПа	13	10
Предельная температура нагрева корпуса	К	384	358
Уровень звука	дБА	79	75
Среднее арифметическое отклонение профиля поверхности трения корпуса	мкм	0,50	0,45
Продолжительность приработки		200 часов	6 минут

Выводы

Разработана новая методика обоснования режимов приработки вакуумных насосов. Выявлено, что на продолжительность и качество приработки пар трения чугун-текстолит наиболее существенное влияние оказывает конструктивный фактор. Пара трения лопатка-корпус подвержена трению при качении со скольжением. Продолжительность приработки отремонтированных насосов минимальная при обработке верхних кромок лопаток по дуге расчетной кривизны. Уточнена аналитическая формула кривизны верхней кромки лопатки. Центр закругления смещен в сторону от осевой линии лопатки и лежит на пересечении радиуса цилиндра, проведенного через середину площадки контакта, и линии, проходящей через середину дуги закругления и центр ротора. Концы лопаток целесообразно предварительно обрабатывать по указанному радиусу. Износ лопаток по толщине снижает и радиус закругления кромки до 11 мм. Изменение смазочного и скоростного режимов незначительно влияют на прира-

ботку поверхностей трения. Преимущества указанного метода приработки состоят в уменьшении ее продолжительности, снижении расхода смазочно-охлаждающих жидкостей и затрат электроэнергии, равномерном износе корпуса. Предложенный способ подготовки кромок лопаток обеспечивает высокое качество приработки поверхностей трения и дает возможность исключить предэксплуатационную обкатку вакуумных насосов в составе доильных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шулкевич, А.А. Обоснование режимов и разработка технологического процесса обкатки вакуумных насосов доильных установок / Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Мн.: 1986. – 16 с.

2 Микулик, Н.А. Решение технических задач по теории вероятности и математической статистике (справочное пособие) / Н.А. Микулик, Г.Н. Рейзина. – Мн.: Высшая школа, 1991., 164 с., ил.

УДК 631.30.01-254:631.4

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.04.2006

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ

И.И. Романюк, ст. преподаватель (УО БГАТУ)

Аннотация

Переуплотнение почв ведет не только к снижению урожайности, но и к их деградации, а, следовательно, к нарушению экологических систем. В статье рассматривается влияние низкочастотных колебаний колесных движителей на уплотнение почвы. Контактная задача «колесо-почва» описывается на основе односторонней расчетной схемы. Для решения задачи применен математический аппарат теории колебаний. Динамика колеса и почвы приводится с учетом собственных и вынужденных колебаний.

Введение

Естественные экосистемы обладают сложным механизмом саморегуляции. Разрушая этот механизм, человек создает условия, при которых технический прогресс с долговременных позиций становится бесперспективным.

Важнейшей особенностью функционирования естественных экосистем является эволюционно сложившаяся сбалансированность происходящих в них процессов вещественно-энергетического обмена. В результате антропогенной деятельности человека экосистемы приобретают ряд специфических свойств, которые характерны для конкретных типов хозяйственной деятельности. Так, «...при аграрном типе антропогенного фактора воздействия экосистема трансформируется в

агроэкосистему, функционирование которой регулируется посредством «импорта в систему» вещества и энергии с целью достижения высокой продуктивности» [1, с.20].

При формировании агроэкосистем основополагающее значение имеет их устойчивость, а, именно, способность сохранять и поддерживать значение своих параметров и структуры в пространстве и во времени без изменения характера функционирования.

Агроэкосистемы должны обладать способностью возвращаться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия антропогенного фактора. Сохранение почв от чрезмерного их переуплотнения — центральное звено в обеспечении устойчивости агроэкосистем и АПК в целом.