

УДК 631.371: 621.311

О МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДАХ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ППРЭСХ

Л.С. ГЕРАСИМОВИЧ, д.т.н., академик; В.И. РУСАН, д.т.н., профессор;
А.Н. БАРАН, к.т.н.; Ю.Н. СЕЛЮК, Е.И. ЧЕПИК (БГАТУ)

Система планово - предупредительных ремонтов и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий [1] явилась первым системным документом, упорядочивающим эксплуатацию электрооборудования, её организацию, перечень работ и их содержание. Однако практическая реализация положений системы столкнулась с рядом проблем, что привело к её фактическому несоблюдению. Важнейшими проблемами при реализации системы оказались некомплектность, низкая оснащённость и низкая квалификация персонала; недостаточная разъяснительно - пропагандистская работа и несовершенство самой системы.

Предусмотренная ею периодичность выполнения работ и их содержание основываются на статистических исследованиях отказов и изменениях их потоков для оборудования, ранее запущенного в производство, и недостаточно чётко просматривается физическая сущность проблемы. Кроме того, особенно в изменившихся экономических условиях, расчёты периодичности обслуживаний и их видов не позволяли учесть реальную производственную ситуацию и гибко реагировать на изменение условий, что привело к нереальности выполнения многих положений системы, непродуманному или необоснованному ремонту или изменению их объёмов.

Вместе с тем, если проанализировать состав работ при техническом обслуживании (ТО) и

текущем ремонте (ТР), то для значительного количества оборудования это: очистка от пыли и грязи, проверка креплений, проверка состояний заземлений, проверка состояний и регулировка контактных соединений, проверка состояния изоляции, выполнение антикоррозионных работ (окраска, смазка и т. д.), замена пришедших в негодность элементов оборудования. Однако как и в какой мере влияют эти работы на восстановление работоспособности оборудования, не ясно. Вместе с тем известны изменения свойств электрооборудования [2,3,4,5,6] в процессе эксплуатации в зависимости от температуры, влажности, концентрации химических веществ, отложений накипи, пыли, механи-

ческих воздействий. Эти изменения носят в основном экспоненциальный характер с монотонно убывающими показателями. Очевидно, работы по ТО и ТР в таком случае должны проводиться при достижении этими показателями некоторого предельно допустимого или экономически оправданного значения (рис. 1) и быть направлены на восстановление свойств, а экономическая целесообразность восстановительных работ определит и срок службы изделия ($T_{сл}$). В таблице 1 приведены функциональные зависимости изменения свойств оборудования и расчётное время до профилактических мероприятий для некоторых ограничивающих факторов.

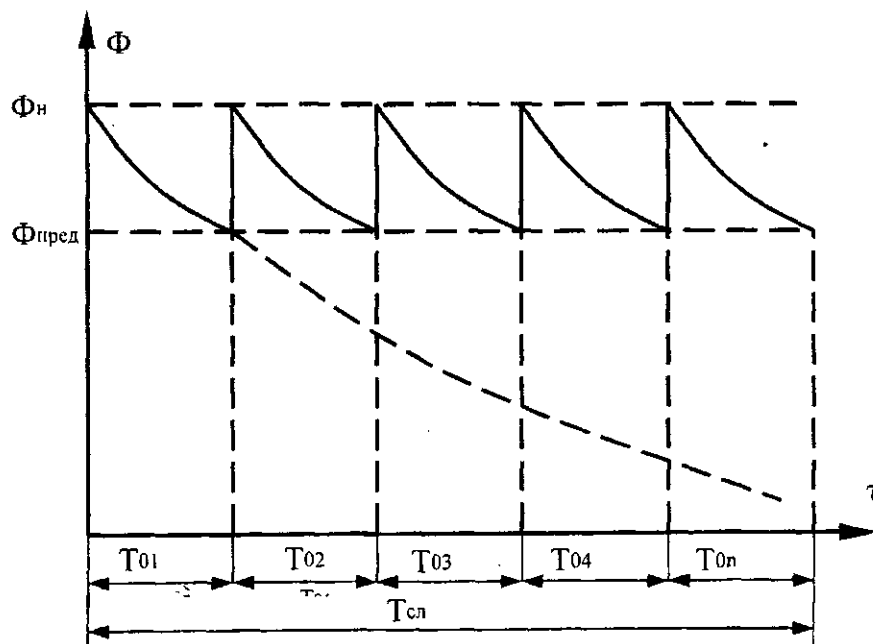


Рис. 1.

1.Функциональная зависимость изменения свойств

Параметр	Функциональная зависимость	Время до профилактических мероприятий
1	2	3
Световой поток осветительных установок и освещённость поверхностей.	от запылённости $\Phi_{зап} = \Phi_0 \cdot (\gamma_c + \beta_c \cdot e^{-t/t_c})$ от снижения светового потока вследствие старения источников света $\Phi_t = \Phi_0 \cdot (\gamma_n + \beta_n \cdot e^{-t/t_n})$ от загрязнения окружающих поверхностей и изменения отражающих свойств $\rho_t = \rho_0 \cdot (\gamma_n + \beta_n \cdot e^{-t/t_n})$	$t = t_c \cdot \ln \beta_c \cdot (-\gamma_c + \Phi_t / \Phi_0)$ $t = t_n \cdot \ln \beta_n \cdot (-\gamma_n + \Phi_t / \Phi_0)$ $t = t_n \cdot \ln \beta_n \cdot (-\gamma_n + \rho_t / \rho_0)$
Сопротивление контактов.	от коррозии $R = R_0 \cdot (a_1 + C \cdot e^{-t/t_n})$ от механического износа $R = R_0 \cdot (a_2 + C \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta \cdot t^\gamma})$	$t = -t_n \cdot \ln((R/R_0 - a_1)/C)$ $t = \sqrt[\gamma]{(R/R_0 - a_2)/C \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta}}$
Сопротивление изоляции.	от воздействия температуры среды и изменения нагрузок $R = R_0 \cdot e^{B \cdot (\frac{1-x}{\theta} - \frac{1-x \cdot k^2}{\theta_n})}$ от изменения условий охлаждения $R = R_0 \cdot e^{B \cdot (\frac{1-x}{\theta} - \frac{(1-x \cdot k^2) \cdot A}{\Delta P_c + \Delta P_m \cdot k^2})}$ от естественного старения вследствие длительной эксплуатации $R = R_0 \cdot \varepsilon$	$t = t_0 / (e^{B \cdot (\frac{1-x}{\theta} - \frac{1-x \cdot k^2}{\theta_n})})$ $t = t_0 / (e^{B \cdot (\frac{1-x}{\theta} - \frac{(1-x \cdot k^2) \cdot A}{\Delta P_c + \Delta P_m \cdot k^2})})$ $t = t_0 / \varepsilon$
Работоспособность подшипников.	от величины и характера нагрузки $C_i = Q_i \cdot (n \cdot T_{pi})^{0.3}$ от изменения свойств смазки $v = v_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t)$	$t = (1/n) \cdot (C_i / Q_i)^{3.33}$ $t = (v/v_0 - 1) / \alpha_1$

туры работы; k - кратность тока нагрузки по отношению к номинальному; A - теплоотдача электродвигателя; x - коэффициент, учитывающий влияние электродинамических сил; t_c - базовое время; a_1, a_2, C, B - эмпирические коэффициенты; α - температурный коэффициент сопротивления; $\Delta \theta$ - превышение температуры над расчётной; γ - коэффициент переноса; C_i - коэффициент работоспособности подшипника; Q_i - приведенная расчётная нагрузка на подшипник; n - частота вращения; T_{pi} - долговечность подшипника; α_1 - коэффициент износа смазки.

Нами была разработана программа и выполнены расчёты периодичности ремонтных работ для асинхронного электродвигателя в зависимости от вышеуказанных факторов. В качестве базовых приняты показатели, устанавливаемые ГОСТом или ТУ [6,7,8]. Результаты расчётов представлены на гистограммах.

Однако предельные значения параметров, определяющих работоспособность изделия, могут быть экономически неоправданны, т.е. неэффективны, т.к. изделие уже вышло из строя или преждевременны, т.к. затраты на ремонтные воздействия превысят экономический эффект от эксплуатации работоспособного изделия.

Рассмотрим экономическую целесообразность ремонтных воздействий, оперируя понятия-

В таблице приняты следующие обозначения: $\Phi_{зап}, \Phi_t, \rho_t, R, v$ - соответственно значения светового потока, коэффициента отражения поверхности, сопротивления, вязкости смазки в момент времени t от начала работы; t_c, t_n, t_0 - постоянные времена; $\gamma_c, \beta_c, \gamma_n, \beta_n, \gamma, \alpha$ - коэффициенты, учитывающие степень изменения светового потока при запы-

лении, старении источников света и загрязнении окружающих поверхностей; Φ_0, ρ_0, R_0, v_0 - начальные значения светового потока, коэффициента отражения поверхности, сопротивления, вязкости смазки; ε - скорость естественного старения изоляции; $\Delta P_c, \Delta P_m$ - потери мощности в стали и проводниках; θ_n, θ - базовая и установившаяся темпера-

ми их надёжности.

Физические основы надёжности, определяемые по отдельным влияющим факторам, являясь наглядными, не в полной мере учитывают всё множество влияющих факторов, которое проявляется в статистических исследованиях. Однако, оперируя наиболее влияющими, а самое главное - управляемыми факторами, можно с определённой достоверностью описывать надёжность системы.

Надёжность работы оборудования определяется его безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. Долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость оборудования в основном определяются при конструировании и изготовлении оборудования и в процессе эксплуатации могут лишь поддерживаться путем соблюдения условий хранения, транспортировки, монтажа или использования. Безотказность оборудования зависит как от исходных свойств оборудования, так и режимов и условий эксплуатации. Важнейшими характеристиками безотказности являются: интенсивность отказов, вероятность безотказной работы и наработка на отказ [4].

$$P(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt, \quad \lambda(t) = \frac{\partial f(t)}{P(t) \partial t};$$

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

где $f(t)$ - плотность распределения случайной непрерывной величины (отказов) во времени.

Примем в первом приближении, что плотность распределения наработок на отказ имеет экспоненциальный закон. В этом случае параметр распределения:

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}},$$

где t_{cp} - среднее время наработки на отказ, определяемое в зависимости от наличия тех или иных элементов по выражениям таблицы 1. Для оборудования в целом

$$P(t) = e^{-\lambda_{ш}t} \cdot e^{-\lambda_{к}t} \cdot e^{-\lambda_{н}t} \cdot e^{-\lambda_{шн}t} \cdot e^{-\lambda_{р}t},$$

где $\lambda_{ш}$ - интенсивность отказов изоляций; $\lambda_{к}$ - интенсивность отказов контактных соединений; $\lambda_{н}$ - интенсивность отказов подшипников; $\lambda_{шн}$ - интенсивность отказов шёток; $\lambda_{р}$ - интенсивность отказов редуктора.

Приняв $P = e^{-\lambda t}$, найдем

$$\lambda = \lambda_{ш} + \lambda_{к} + \lambda_{н} + \lambda_{шн} + \lambda_{р}$$

При отсутствии элементов оборудования интенсивность их отказов принимаем равной 0. Для определения оптимальной периодичности выполнения профилактических работ запишем целевую функцию как технико-экономическую задачу. Целевая функция удельных суммарных затрат при определении оптимальной периодичности имеет вид [2]:

$$Z = \frac{Z_n}{T} + \lambda Z_p (1 + y) T^a,$$

где Z_n - затраты на одну профилактику; T - периодичность обслуживания;

λ - интенсивность отказов при исходной периодичности профилактик;

Z_p - затраты на один капитальный ремонт; y - технологический ущерб из-за отказов, выраженный в долях от Z_p ; a - показатель, характеризующий эффективность профилактик.

Исследуя уравнение на экстремум, получим:

$$\frac{\partial Z}{\partial T} = -Z_n T^{-2} + \lambda Z_p (1 + y) a T^{a-1} = 0$$

Отсюда оптимальная периодичность

$$T_0 = \sqrt[1+a]{\frac{Z_n}{[\lambda Z_p (1 + y)]}}$$

Коэффициент a может быть рассчитан из тех же выражений, что и показатель λ . Он показывает, на сколько процентов снижается интенсивность отказов при снижении периодичности на 1%, если затраты на капитальный и профилактический ремонт приняты равными их трудоемкости.

Нами были выполнены расчёты оптимальной периодичности для некоторых видов оборудования и различных экономических показателей (соотношения затрат на профилактические работы и капитальный ремонт, удельного ущерба, показателя эффективности профилактических работ). Результаты представлены в таблице 2.

Анализ численных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Предложенная математическая модель и методика расчетов позволяет определить периодичность профилактических работ в зависимости от условий эксплуатации, вида эксплуатируемого оборудования и его технологической загруженности.

2. На изменение периодичности профилактических работ существенное влияние оказывает величина возможных технологических ущербов, а также затраты на профилактические и капитальные ремонты. При возрастании предполагаемого ущерба, а также затрат на капитальный ремонт по сравнению с профилактическими работами оптимальная периодичность резко снижается.

3. Периодичность профилактических работ зависит не только от условий эксплуатации, но и от сроков использования оборудования (двигатели после КР. и т.д.) так как вследствие этого возрастают потери в стали, ускоряются коррозионные процессы, и периодичность обслуживания снижается.

4. Предложенная система требует дальнейшей доработки, уточнения параметров при эксплуатации всех видов оборудования, их расчета и может являться задачей следующих исследований.

Следовательно, совершенствование системы ППРЭСх должно быть направлено на:

- 1) уточнение объема и содержания типовых работ, а, следовательно, и их трудоемкости;
- 2) уточнение периодичности профилактических работ в зави-

2. Оптимальная периодичность профилактических мероприятий для различных экономических показателей

у*	а	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5
$3п/3р=1/3$							
0		884,6	179,9	67,9	34,7	21,2	14,5
0,5		639,6	137,3	56,9	28,4	17,7	12,4
1		508,1	113,3	45,7	24,6	15,6	11
1,5		425	97,5	40,3	22	14,1	10,1
$3п/3р=1/4$							
0		702,8	148,5	57,6	30,1	18,7	12,9
0,5		508,1	113,3	45,7	24,6	15,6	11
1		403,6	93,5	38,8	21,3	13,7	9,8
1,5		337,6	80,6	34,2	19	12,4	9
$3п/3р=1/5$							
0		587,9	128	50,7	26,9	16,9	11,8
0,5		425	97,6	40,3	22	14,1	10,1
1		337,6	80,6	34,2	19	12,4	9
1,5		282,4	69,5	30,1	17	11,2	8,2
$3п/3р=1/6$							
0		508,1	113,3	45,7	24,6	15,6	11
0,5		367,3	86,5	36,3	20,1	13	9,4
1		291,8	71,4	30,8	17,4	11,5	8,3
1,5		244,1	61,5	27,1	15,5	10,4	7,6

симости от важности объекта (возможного ущерба), условий эксплуатации, срока службы изделия;

3) периодичность профилактических работ должна определяться в основном не в календарных единицах, а в наработке или календарные сроки должны быть скорректированы с учётом использования оборудования.

В общем случае периодичность профилактических работ должна корректироваться с помощью уточняющих коэффициентов:

$$T_0 = T_{\sigma} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9$$

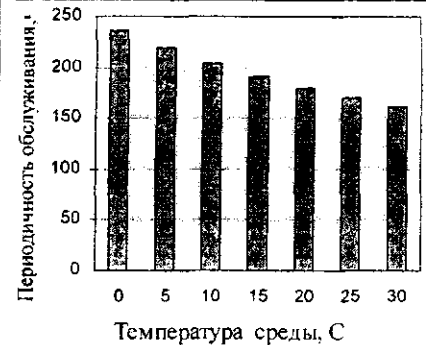
где T_{σ} - базовая периодичность для условий, определяемых требованиями ГОСТа или ТУ [6,7,8]; K_1 - коэффициент, учитывающий использование оборудования в течение года; K_2 - коэффициент, учитывающий характер нагрузки; K_3 - коэффициент, учитывающий ответственность потребителя (возможный ущерб); K_4 - коэффициент, учитывающий загрузку электродвигателя; K_5 - коэффициент, учиты-

вающий возможные отклонения напряжения в сети; K_6 - коэффициент, учитывающий отклонение температуры от базовых условий; K_7 - коэффициент, учитывающий наличие агрессивных газов в зоне эксплуатации; K_8 - коэффициент, учитывающий наличие или выделение в технологическом процессе пыли; K_9 - коэффициент, учитывающий степень износа оборудования. Значения коэффициентов для некоторых условий в соответствии с выполненным численным экспериментом приведены в таблице.

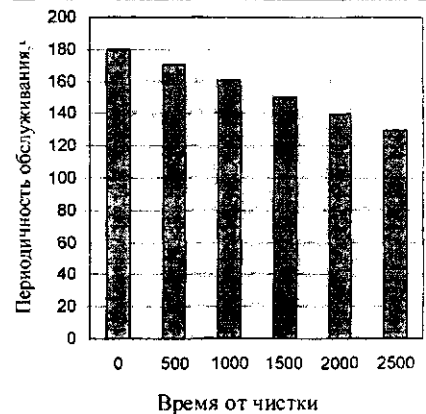
3. Выполнив аналогичные расчёты для различных видов оборудования, можно создать базу уточняющих коэффициентов, с помощью которых можно планировать работы по ТО и ТР электрооборудования в конкретных условиях эксплуатации. При этом уточнение условий эксплуатации можно реализовать через систему диагностирования, что позволит избежать нецелесообразных разборок или преждевременных ремонтов и в конечном итоге повысит экономическую эффективность эксплуатации электрооборудования.



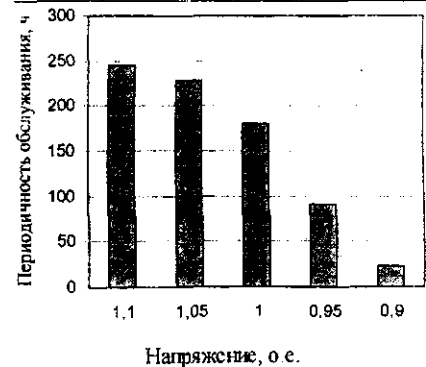
Гистограмма зависимости периодичности обслуживания от нагрузки



Гистограмма зависимости периодичности обслуживания от температуры



Гистограмма зависимости периодичности обслуживания от времени



Гистограмма зависимости периодичности обслуживания от напряжения сети

Рис 2.

Литература

1. Система планово - предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий/ Госагропром СССР. - М.: ВО Агропромиздат, 1987. - 191 с.
2. Пястолов А. А., Ерошенко Г. П. Эксплуатация электрооборудования. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.
3. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. - Киев: Издательство УСХА, 1990. - 168 с.
4. Сырых Н. Н. Эксплуатация сельских электроустановок - М. Агропромиздат, 1986. - 255 с.
5. Справочная книга по светотехнике/ под ред. Ю. Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 472 с.
6. ГОСТ 16264.1 - 85. Двигатели асинхронные. Общие технические условия.
7. ГОСТ 28330 - 89 Е. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Общие технические требования.
8. ТУ 16 - ВАКИ - 526322 - 081 - 94. Двигатели асинхронные.

КАК СНИЗИТЬ ПОТЕРИ ПРИ ЗАГОТОВКЕ КОРМОВ ИЗ ТРАВ

И.И. ПИУНОВСКИЙ, д.т.н., профессор (УП "БелНИИМСХ")

Величайший русский ученый-биолог И.И. Мечников еще в девятнадцатом веке высказал мнение о том, что средняя продолжительность жизни человека должна быть не менее 150 лет. Однако в настоящее время это пока не оправдалось, в основном, из-за недостаточных познаний биологической клетки. Ученые отмечают, что если двадцатый век был веком проникновения знаний в атом, то двадцать первый век будет веком проникновения науки в познание законов биологической клетки. Это позволит, в первую очередь, найти методы лечения от многих заболеваний, которые в настоящее время укорачивают жизнь человека.

Однако в этом случае в человеческом обществе возникнут новые проблемы, а именно проблемы с продуктами питания, дефицит которых во многих регионах планеты уже ощущался в прошедшем столетии.

Продукты питания, кроме производства их в достаточном количестве, должны отвечать требованиям полноценности потребляемого рациона. Установленный медициной оптимальный рацион

питания человека должен обязательно состоять из продуктов, приготавливаемых из молока и мяса крупного рогатого скота.

Поэтому развитию животноводства и впредь будет придаваться первостепенное значение, для всемерного развития которого нужна прочная кормовая база. Производимые корма не должны конкурировать с продуктами, приготавливаемыми для непосредственного питания человека, как зерно и корнеклубнеплоды. К ним относятся корма, приготавливаемые из трав, которые представляют не только кормовую ценность, но и являются незаменимыми предшественниками многих сельскохозяйственных культур, особенно зерновых. Они не только переносят из воздуха в почву азот, имеются в виду бобовые травы, но и обеззараживают почву, что значительно снижает недобор урожая от болезней при возделывании последующих культур. Только жвачные животные способны перерабатывать травы в такие ценные продукты питания, как молоко и говядина. Поэтому травы и в будущем останутся незаменимым сырьем для приготовления кормов, име-

ющим в достаточном количестве питательные вещества, требуемые для полноценного кормления крупного рогатого скота.

В структуре посевных площадей травы занимают не менее сорока процентов, и дальнейшее расширение площадей практически невозможно. Поэтому увеличение производства кормов из трав возможно только за счет повышения их урожайности и снижения потерь в процессах уборки трав, приготовления из них кормов и их хранения. Эти потери в настоящее время составляют не менее 45...50% от выращенного урожая. Биологически неизбежные потери в процессах заготовки и хранения кормов из трав не превышают 15...20%, т.е. в 2,5...3 раза производственные потери превышают допустимые. Снижение этих потерь до биологически неизбежных - первостепенная задача науки и практики.

Особенностью заготовки кормов из трав является не только сбор как можно большего количества кормов в весовом отношении, но и необходимость собрать как можно больше питательных веществ и витаминов, которые характеризуют качество приго-