

Таким образом, было проведено моделирование одной секунды течения расплава полимера, представляющего собой вязкоупругую жидкость, по щелевому каналу.

Библиографический список

1. Кошелев К.Б., Пышнограй Г.В., Толстых М.Ю. Моделирование трехмерного течения полимерного расплава в сходящемся канале с прямоугольным сечением // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2015. – №3. – С. 3–9.
2. Пышнограй Г.В., Покровский В.Н., Яновский Ю.Г., Образцов И.Ф., Карнет Ю.А. Определяющее уравнение нелинейных вязкоупругих (полимерных) сред в нулевом приближении по параметрам молекулярной теории и следствия для сдвига и растяжения // Докл. РАН. – 1994. – Т. 339, № 5. – С. 612–615.

УДК 621.313.333

К вопросу прогнозирования эксплуатационной надёжности электродвигателей в АПК с использованием вероятностной модели их состояния

Е. О. Мартко

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Агропромышленный комплекс (АПК) в целом и его базовая отрасль – сельское хозяйство – являются ведущими системообразующими сферами экономики страны, формирующими продовольственный рынок, продовольственную и экономическую безопасность, трудовой и поселенческий потенциал сельских территорий [1]. Наличие на предприятиях всего около 30% новых электроустановок наряду с устаревшим оборудованием отрицательно сказывается на развитии всей отрасли, именно поэтому так значительно возрастают требования к эксплуатации, призванные решать проблемы его надёжности.

Низкий уровень эксплуатационной надёжности электродвигателей (ЭД), основного электрооборудование в АПК, отрицательно сказывается на общей экономической эффективности сельхозпредприятий. Рекомендуемые меры плановой профилактики электроприводов зачастую не приводят к желаемым результатам и поэтому имеют достаточно ограниченное применение. Проблема эксплуатационной надёжности ЭД системна и не поддаётся решению с помощью отдельных технических средств. Только разработка и внедрение систем автоматизированного расчёта остаточного ресурса ЭД позволяет перейти на качественно новую основу организации обслуживания и ремонта за счёт оценки фактического состояния оборудования. Такой подход наиболее рационален, так как позволяет снизить эксплуатационные расходы и расходы на проведение ремонтных работ.

Большинству существующих в настоящее время методик расчёта остаточного ресурса ЭД присущ основной недостаток – низкая достоверность полученных результатов из-за отсутствия учёта вероятностных параметров внешней среды эксплуатации, имеющих место в реальном мире. Рассматриваемая проблема многогранна, решается довольно медленно, поскольку ситуация осложнена тем, что в рабочем режиме, как правило, возникают либо организационные и технические трудности, обусловленные необходимостью внедрения соответствующей измерительной техники, либо требуется ресурсоёмкая разработка программного обеспечения реализации избранной методики.

В отношении прогнозирования общей чертой исследований [3–7] является то, что в них рассматривался детерминированный подход к получению моделей прогноза и практически не уделено внимание вероятностному подходу. В работах рассмотрены как краткосрочные прогнозы (до нескольких месяцев, динамические модели прогноза, применимые к изменяющимся условиям эксплуатации), так и среднесрочные (до выхода электроизоляционной системы из строя). Однако мало внимания уделялось влиянию на результаты прогноза такому показателю эксплуатации ЭД в сельском хозяйстве, как остаточный ресурс.

Поэтому необходимо создание нового метода определения периодичности промежутка времени надёжной работы ЭД до понижения его работоспособности до уровня необходимости проведения ремонта.

На сопротивление изоляции ЭД оказывают влияние нагрузка и режим его работы. В связи с тем, что они зависят от времени, т.е. имеют явный характер временного ряда, наилучшим методом для прогнозирования является метод анализа сингулярного спектра, который достаточно подробно рассмотрен в [8, 9].

В ходе решения поставленных задач была разработана модель прогноза остаточного ресурса ЭД [10]. При построении было введено понятие нормы вероятности – рассматривалась вероятность

выхода электродвигателя из строя, заданная априорно, которая может быть изменена в зависимости от степени занятости электродвигателя в технологическом процессе.

В основу модели прогноза положены сопротивления, полученные в зависимости от показаний агрессивности среды (влажности, температуры), а также с учётом изменения параметров от времени и аналитических зависимостей. Она имеет вид:

$$R = R_{20} \left[1 + \alpha \left(A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) + \tau_y \right) \right] \cdot \exp \left(-t \cdot \left[A \cdot \exp \left(E_a \cdot C^{-m} \cdot \left(C_0 + \sum_{j=1}^n (C_j \cos \omega_j t + D_j \sin \omega_j t) + \phi(t) \right)^{-n} \cdot \left[R_r \cdot \left(A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) \right) \right]^{-1} \right) \right] \right)^{-1}$$

где R_{20} – начальное сопротивление изоляции ЭД, замеренное непосредственно перед вводом в эксплуатацию ЭД при температуре 20°C ; α – температурный коэффициент сопротивления изоляции; A_0 – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой температуры, $^\circ\text{C}$; A_i , B_i – амплитуды колебаний математического ожидания температуры, соответствующие частоте ω_i ; $\psi(t)$ – случайная составляющая температуры, соответствующая времени t , $^\circ\text{C}$; τ_y – установившееся превышение температуры; C – концентрация агрессивного агента, г/м^3 или %; A , m , n – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и режима работы двигателя. Они определяются экспериментально для конкретного материала или оборудования, приведены в диссертации О.Д. Гольдберга [5, 10]; E_a – эффективная энергия активации процесса, вызывающего отказ, определяемая для конкретного материала, Дж/моль ; $R_r = 8,32 \text{ Дж/град}\cdot\text{моль}$ – универсальная газовая постоянная; C_0 – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой влажности, %; C_j , D_j – амплитуды колебаний математического ожидания влажности, соответствующие частоте ω_j ; $\phi(t)$ – случайная составляющая влажности, соответствующая времени t , $^\circ\text{C}$.

Для проверки работоспособности разработанного метода прогнозирования использованы более 200 ЭД мощностью от 2,2 до 7,5 кВт. Подконтрольная эксплуатация показала, что точность разработанной математической модели, позволяющей прогнозировать остаточный ресурс ЭД с заранее оговоренной вероятностью выхода из строя p , составила 8%. Тот факт, что разработанная математическая модель учитывает индивидуальные особенности эксплуатируемого на предприятии ЭД (тип, характер работы и наименование технологического процесса), позволяет судить об её гибкости (адаптивности) к прогнозу остаточного ресурса.

Наилучшим краткосрочным интервалом прогнозирования, при котором достигается наименьшая погрешность, является 24 ч.

Разработанный метод прогнозирования эксплуатационной надёжности ЭД на практике позволяет снизить количество выходов электродвигателей из строя, простоев оборудования на предприятии, и, как следствие, сократить материальные затраты на ремонт и от простоев производственного процесса.

Библиографический список

1. Стратегия социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года (научные основы) / отв. за подготовку Стратегии И.Г. Ушачев, А.Ф. Серков, В.С. Чекалин. – М. : РАСХН, 2011. – 101 с.
2. Калачев Ю.Н. Управляемый асинхронный электропривод. [Электронный ресурс]. – Заглавие с экрана. Режим доступа : http://www.privod.ru/stat_kalchev.htm.
3. Рыбаков В.А. Разработка методики планирования ремонта электродвигателей в сельском хозяйстве на основе математического моделирования их жизненного цикла : дис.... канд. техн. наук. – Барнаул, 2007. – 204 с.
4. Похолков Ю.П. Разработка методов исследования, расчета и обеспечения показателей надежности и долговечности изоляции обмоток асинхронных двигателей : дис. ... доктора технических наук. – Томск, 1977. – 482 с.
5. Гольдберг О.Д. Теоретическая и экспериментальная разработка методов расчета показателей надежности, ускоренных испытаний и контроля качества асинхронных двигателей : дис.... доктора технических наук. – Все-союз. заочный политехн. ин-т. – 1971. – 292 с.
6. Дудкин А.Н., Матялис А.П., Муравлев О.П. Обеспечение качества и надежности электрических машин // Известия Томского политехнического университета. – Томск : Изд-во НТЛ, 2000. – Т. 303, вып. 1. – С. 266–269.
7. Гутов И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: дис ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Защищена 26.12.97: Утв. – Барнаул, 1997. – 259 с.
8. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: учеб. пособие. – СПб., 2004. – 52 с.

9. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие. – СПб., 2004. – 76 с.

10. Мартко Е.О. Прогнозирование эксплуатационной надежности электродвигателя на основе вероятностной модели его технического состояния в АПК : дис ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Защищена 30.06.15: Утв. – Барнаул, 2015. – 129 с.

УДК 519.81

Асимметрия информированности в иерархических системах

Е. В. Матюнин¹, Н. М. Оскорбин²

¹ООО «МЕМ», г. Барнаул; ²АлтГУ, г. Барнаул

Изучение взаимодействия участников иерархических систем проводилось во многих работах отечественных и зарубежных авторов, например, [1–4], в том числе, в условиях асимметрии информированности относительно случайных параметров системы [5, 6]. Прикладная направленность этих исследований отмечена, например, в [7].

В данной статье иерархическое взаимодействие участников рассматривается в рамках ситуации равновесия по Штакельбергу, в том числе на примере модели контроля [2].

Иерархические игры в условиях асимметрии информированности участников

Исследуется функционирование системы с очередностью ходов. В основе данного взаимодействия рассматривается игра 2-х лиц: $G = \{N, \Theta, X, U, P\}$, где $N = \{1, 2\}$ – множество игроков; $X = \prod_{i \in N} X_i$ – множество допустимых стратегий; $\Theta = \prod_{i \in N} \Theta_i$ – множество всех типов игроков (типы игроков описываются случайными параметрами системы); $U: X \times \Theta \rightarrow R$ – множество всех функций выигрышей игроков; $P = \prod_{i \in N} P_i$ – множество функций распределения типов.

Стратегия i -го игрока задается следующим образом: $x_i(\theta^i): \Theta_i \rightarrow X_i$, θ^i – вектор случайных параметров, определяющих тип i -го игрока.

В работе рассматривается взаимодействие, где асимметрия информированности задается «знанием» (на момент реализации решения) значений случайных параметров $\theta^1 = (\theta_1, \dots, \theta_h)$, $\theta^1 \in \Theta^1$ для первого игрока, $\theta^2 = (\theta_{h+1}, \dots, \theta_r)$, $\theta^2 \in \Theta^2$ – для второго игрока. Вектор $\theta \in \Theta$ имеет следующую структуру: $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_h, \theta_{h+1}, \dots, \theta_r)$, $\Theta = \Theta^1 \cup \Theta^2$; I_1, I_2 – множество индексов параметров, значения которых будут известны 1-му игроку и 2-му игроку соответственно ($I_1 = \{1, \dots, h\}$, $I_2 = \{h+1, \dots, r\}$, $I_1 \cap I_2 = \emptyset$).

Условия асимметрии информированности будем вводить равенством нулю производной от стратегии игрока по параметру, точное значение которого на момент реализации решения не будет известно конкретному участнику [8]: $\frac{\partial x_i(\theta^i)}{\partial \theta_j} = 0$, $i \in N$, $j \in I \setminus I_i$.

Формализация иерархических взаимодействий с асимметрией информированности проведена по аналогии формализации байесовых игр в работе [9].

Функции ожидаемой полезности участников рассмотрим в общем виде: $U_1 = E_{[\theta]} f_1(x_1(\cdot), x_2(\cdot), \theta^1, \theta^2)$, $U_2 = E_{[\theta]} f_2(x_1(\cdot), x_1(\cdot), \theta^1, \theta^2)$, где $U_1, U_2 \in U$; $E_{[\theta]}$ – операция вычисления математического ожидания.

Принятие решений в задачах с иерархическим взаимодействием сторон в рамках ситуации равновесия по Штакельбергу

Пусть «игроком-лидером» является первый участник, а второй доброжелателен к целям первого, тогда ситуацией равновесия по Штакельбергу называется ситуация $(x_1^S(\cdot), x_2^S(\cdot))$, если:

$$x_1^S(\cdot) = \arg \max_{x_1(\cdot) \in X_1} \max_{x_2(\cdot) \in R(x_1(\cdot), \theta)} \int_{\Theta} f_1(x_1(\cdot), x_2(\cdot), \theta) dP(\theta); x_2^S(\cdot) \in R(x_1(\cdot), \theta),$$