УДК 621.396:535

ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ СРЫВА ГРАДИЕНТНОГО СЛЕЖЕНИЯ

Деева В. С.

научный руководитель д-р техн. наук Слободян С. М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Любые измерительные средства, системы и приборы разомкнутого или замкнутого (следящего) типа в процессе функционирования подвержены действию случайных помех, искажающих, в большей или меньшей мере, достоверность, получаемых с помощью этих средств, результатов измерений. Автоматические измерительные системы с замкнутым контуром измерения (управления) обычно называют следящими системами. Применение принципов слежения – сопровождения изменений измеряемого параметра – несомненно привлекательно в любых средствах измерений. Следящие устройства обеспечивают большее быстродействие и обладают меньшими погрешностями при измерении любого параметра. Но, как в любой системе автоматического регулирования, следящая система может быть устойчива и не устойчива, даже при действии на неё детерминированных сигналов, не говоря уже о действии случайных воздействий – помех.

Поведение автоматического измерительного средства контроля и диагностики состояния измеряемого параметра или наблюдаемого и управляемого объекта, как и поведение следящей системы при действии как детерминированных, так и случайных помех, может быть описано в вероятностной форме стохастическим дифференциальным уравнением, которое характеризует вариации или изменение во времени величину погрешности слежения в контуре автоматического сопровождения измеряемого параметра или координат состояния объекта наблюдения, контроля и диагностики. В литературе применяются также термины абсолютно адекватные термину погрешность: ошибка слежения, невязка, рассогласование, отклонение и т.п. Известно, что решение стохастического дифференциального уравнения, из-за наличия воздействия шума и случайных помех, является случайной функцией времени. Таким образом, если взять за основу принципы теории подобия, а именно, широко известную физическую аналогию – броуновское движение, то можно считать, что координата, например, x – значение измеряемого параметра (амплитуда, фаза, частота, смещение и т.п.) – «блуждает» на всей действительной оси ($-\infty < x < +\infty$) числовой последовательности, принимаемых координатой значений.

Закономерность случайных изменений измеряемого параметра (некоторой координаты состояния объекта или параметра процесса), например, $\varsigma(x,t)$ можно интерпретировать как некоторую физическую или потенциальную силу, обусловленную особенностями протекания наблюдаемого процесса или движения объекта, которая стремится удержать данный параметр, например, координату состояния процесса или объекта, $\vec{x}(t)$ вблизи окрестности $\delta x|_{x(t)=x_0}$ – точки устойчивого равновесия, следящей за изменением этого параметра, системы. Если траектория изменения состояния параметра или объекта (траектория «блуждания») превысит некоторые, заранее установленные в системе ограничительные уровни Δ_1 и Δ_2, то есть $\pm\delta x \geq \pm[(\Delta_2 - \Delta_1)/2]$ или $|\delta x| > |(\Delta_2 - \Delta_1)/2|$ – условие превышения «блужданиями» зоны допустимых их изменений относительно некоторой средней опорной координаты $\Delta_0 = (\Delta_2 - \Delta_1)/2$ с границами $[\Delta_0 - 0{,}5(\Delta_2 - \Delta_1)]$ и $[\Delta_0 + 0{,}5(\Delta_2 - \Delta_1)]$, то с определённой степенью достоверности можно говорить, что в измерительной системе произошёл сбой, а в случае системы автоматического управления (слежения, сопровождения) говорят произошёл срыв управления (слежения, сопровождения).

Граничные значения Δ_1 и Δ_2, определяют размеры «потенциальной ямы», с точки зрения размера зоны устойчивого равновесия соответствующей области минимума энергии блужданий. Они, обычно, соответствуют ординатам резкого роста, опрокидывающей условия равновесия, силы $\varsigma(x,t)$. Сила в этих точках резко возрастает $\varsigma(x,t)\to\pm\infty$. В системах слежения и автоматического управления превышение погрешностью слежения – величиной рассогласования между истинной и измеренной координатой $\vec{x}(t)$ состояния процесса или положения объекта – размера установленной зоны допустимых изменений координаты – называемой в системах слежения зоной дискриминационной характеристики соответствует сбою в работе – срыву слежения и сопровождения объекта наблюдения. В случае выхода погрешности измерения координаты за пределы действия дискриминатора, контур автоматического слежения (обратная связь по положению) размыкается и автоматическая измерительная система, из-за срыва слежения, становится не управляемой, то есть функционально не работоспособной. Весьма часто, ставшее уже правилом, первый же выход координаты состояния объекта наблюдения за пределы установленной зоны отклонения Δ_1 и Δ_2 и понимается как срыв слежения.

Считается, что вероятность $P(x_0,t)$ срыва слежения за заданное $t_н$ – время наблюдения системой объекта в пространстве системы является наиболее полной характеристикой срыва слежения как случайного события. Как показывают литературные источники, в первом приближении срыв слежения в системах можно характеризовать первыми моментами распределения плотности вероятности $p_{x_0}(t)$. Интервала времени, отсчитываемого от момента включения следящей системы до момента времени возникновения сбоя – срыва слежения. Плотность распределения вероятности времени до срыва слежения, согласно основам теории вероятности, есть не что иное, как частная производная вероятности срыва слежения: $p_{x_0}(t)=\partial P(x_0,t)/\partial t$. При этом считают, что наиболее важную роль играет определение среднего времени $m_1(t_н)$ до срыва и дисперсия $D(t_н)$ времени до срыва слежения.

Методы и пути решения этой задачи весьма трудоёмки.

В настоящем сообщении приводятся результаты, найденного для одного из вариантов построения градиентной следящей системы, более простого решения задачи определения закономерности изменения распределения плотности вероятности времени наблюдения объекта слежения до первого акта срыва слежения.

Определён адекватный полученному результату интегральный закон распределения вероятности срыва. Найдено, что второй начальный момент принимает вид $\alpha_2[k]=(1+q)(1-q)^{-2}$, где q – величина обратная вероятности срыва в одном цикле.

Дисперсия числа циклов слежения до первого срыва определится известным путем – разностью $\alpha_2[k]-m_x^2$: $D_x=\alpha_2[k]-m_x^2=[(1+q)(1-q)^{-2}]-(1-q)^{-2}=qp^{-2}$.

Математическое ожидание и дисперсию числа циклов слежения до первого срыва – превышения выброса траектории смещений объекта наблюдения за пределы характеристики дискриминатора – можно связать с характеристиками известного распределения случайной величины распределения Паскаля, описываемого формулой

$$P\{y=k\}=pq^k,\ k=0,1,2,3,\ldots.$$

Таким образом, установлено, что закон распределения длительности устойчивого слежения градиентной измерительной следящей системы диагностики, определяемой числом тактов циклической оценки координат состояния траектории случайных смещений объекта, наблюдаемого явления или траектории изменения параметра случайного процесса, подчиняется распределению сдвинутого на единицу закона распределения Паскаля.