

О ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА АКТИВНОГО ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

А. Д. Болычевцев, И. И. Гребень

Харьков, Киев

Цель активного централизованного контроля — обнаружение в контролируемом процессе признаков контролируемых событий [1]. Последние несут в себе информацию о неблагоприятной тенденции в движении процесса, предупреждая, таким образом, о необходимости вмешательства извне.

При централизованном контроле контролируемые события обнаруживаются в результате сравнения контролируемого процесса $X(t)$ с заданными уставками, именуемыми уровнями сравнения. Их две — верхняя x_0 и нижняя x'_0 . Они располагаются внутри зоны допустимых значений процесса ΔN по обе стороны от номинального уровня $\bar{x}$ и вместе с граничными (аварийными) уровнями x и x' образуют так называемые запасы по норме Δx и $\Delta x'$ (рис. 1).

Запасы по норме — это необходимый противовес неизбежным временным запаздываниям в системе, которые и являются одной из причин возникновения аварийных ситуаций — выбросов процесса за пределы нормы.

Временные запаздывания следует отнести к структурным особенностям обегавшего контроля, а выбросы процесса за пределы нормы на интервале контроля τ_0 можно расценивать как структурные потери сообщений. С точки зрения централизованного контроля сообщение потеряно, если аварийная тенденция в течении процесса либо не обнаружена системой, либо обнаружена слишком поздно и не может быть исполь-

зована для предотвращения аварии или брака. Таким образом, в функции активного централизованного контроля входит своевременное обнаружение контролируемых событий, т. е. контролируемое событие A не должно перерасти в аварийное B внутри того интервала опроса τ_0 , на котором оно возникло (рис. 1).

Разумеется, о неперерастании (благоприятный исход очередной контрольной операции) или перерастании (неблагоприятный исход очередной контрольной операции) контролируемого события в аварийное можно говорить лишь в вероятностном смысле. Поскольку имеется только два возможных исхода, неопределенность описываемой ситуации достаточно полно характеризуется вероятностью одного из них. Эта вероятность и может быть принята за меру качества активного централизованного контроля.

В реальных условиях контроля вероятность благоприятного исхода близка к единице и малонаглядна при сравнительной оценке нескольких вариантов контроля и выбора лучшего из них. В этом отношении лучше брать вероятность неблагоприятного (аварийного) исхода контрольных операций.

Как показано в работе [2], на интервале малых абсолютных значений вероятность P аварийного исхода совпадает с математическим ожиданием условной вероятности выбросов контролируемого параметра за граничный

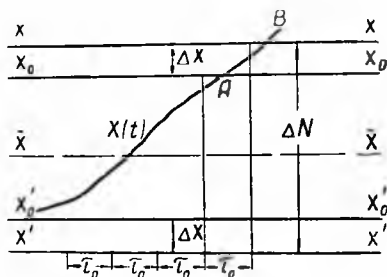


Рис. 1. Расположение установок (уровней) при активном централизованном контроле.

уровень и для гауссова случая

$$P = k_1 \psi(z) = k_1 \left[1 - \Phi(z) + \frac{z}{\sqrt{\pi}} Ei(-z^2) \right]. \quad (1)$$

Здесь $\Phi(z)$ и $-Ei(-z^2)$ — интеграл вероятности и интегральная показательная функция

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt; \quad (2)$$

$$-Ei(-z^2) = \int_{z^2}^{\infty} \frac{1}{t} e^{-t} dt; \quad (3)$$

k_1 — коэффициент уровней

$$k_1 = \exp \left\{ -\frac{\Delta x}{2\sigma} \left(\frac{\Delta N}{2\sigma} - \frac{3}{4} \frac{\Delta x}{\sigma} \right) \right\}; \quad (4)$$

$z = \frac{1}{\sqrt{2}\lambda}$, λ — характеристический параметр запаздывания

$$\lambda = \frac{\omega \sigma \tau_0}{\Delta x}; \quad (5)$$

ΔN — величина нормы,

Δx — величина запаса нормы,

τ_0 — шаг опроса,

σ и ω — среднеквадратичное отклонение и усредненная круговая частота контролируемого параметра как случайной функции времени.

В соотношении (1) определяющую роль играет характеристическая функция обтекающего запаздывания ψ . Второй множитель, коэффициент уровней k_1 , меняется незначительно. Это легко проследить на примерах,

задавшись некоторыми численными значениями приведенной нормы и шага опроса.

Прежде всего отметим, что сомножитель ψ является функцией параметров централизованного контроля x, x_0, τ_0 и числовых вероятностных характеристик контролируемого процесса σ, ω , а сомножитель k_1 зависит только от централизованных величин x и x_0 . Поэтому для выяснения роли этих сомножителей в характеристике влияния изменения параметров системы на вероятность P достаточно проследить зависимость сомножителей k_1 и ψ от уровней x и x_0 .

При заданном значении аварийного уровня x сомножитель k_1 становится функцией одного параметра α

$$\alpha = \frac{x_0 - \bar{x}}{x - \bar{x}}. \quad (6)$$

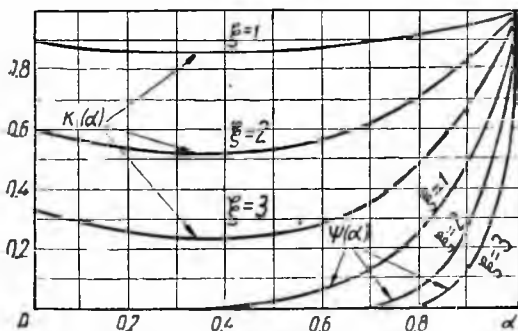


Рис. 2. Общее поведение сомножителей k_1 и ψ как функций параметра α .

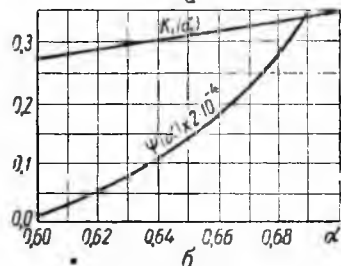
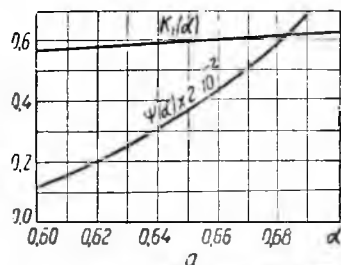


Рис. 3. К оценке влияния параметра α на характер изменения сомножителей k_1 и ψ .

Графики этой функции для трех различных значений нормированного аварийного уровня $\xi = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ ($\xi = 1, \xi = 2, \xi = 3$) построены на рис. 2 (три верхних кривых). Функции характерна особенно слабая зависимость от параметра α в интервале значений

$$0 \leq \alpha \leq \frac{2}{3}. \quad (7)$$

Реальные величины α обычно располагаются в этом интервале.

Поведение сомножителя ψ как функции аргумента α при тех же значениях уровня ξ и величине нормированного шага опроса $\omega\tau_0 = 0,35$ иллюстрируется тремя нижними кривыми (рис. 2). Кривые имеют явно выраженный участок малых абсолютных значений функции. Очевидно, для централизованного контроля этот участок наиболее интересен.

Сравнительное влияние параметра α на характер изменения сомножителей k_1 и ψ , иллюстрируется графиками рис. 3. Графики построены для значений $\omega\tau_0 = 0,35$ и $\xi = 2$ (рис. 3, а), $\xi = 3$ (рис. 3, б). Для большей наглядности результата сопоставления соответствующие построения выполнены на произвольно выделенном узком интервале $\Delta\alpha = 0,1$ изменения параметра α (0,6; 0,7), входящем в участок малых абсолютных значений функции ψ . Как видно из графиков, существенным изменениям функции ψ соответствуют практически постоянные величины k_1 . Различия в поведении сомножителей k_1 и ψ при смещении интервала $\Delta\alpha$ влево по

оси абсцисс (что обычно наблюдается в реальных условиях контроля) еще более резкие.

Приведенные пояснения показывают, что за меру качества активного централизованного контроля вместо вероятности P можно принять приближенные, но более удобные для вычислений характеристики, например, саму функцию ψ или ее аргумент z , или некоторую другую функцию этого аргумента. Поскольку функция ψ убывает с ростом своего аргумента, удобно остановить выбор на его обратной величине, опустив сомножитель $\sqrt{2}$. Этот показатель был определен ранее как характеристический параметр запаздывания (5).

Разумеется, возможен и информационный подход к рассматриваемому вопросу, когда за меру качества контроля выбирается какой-либо информационный показатель. Очевидно, в рамках описываемых задач между вероятностными и информационными показателями существует однозначная взаимозависимость, поэтому знание одних показателей позволяет перейти к другим и наоборот.

Например, между энтропией H результата опыта, имеющего два возможных исхода, и вероятностью P появления одного из них существует взаимосвязь

$$H = -P \log P - (1 - P) \log (1 - P), \quad (8)$$

что следует непосредственно из определения энтропии [3—5].

Для малых значений P эту зависимость можно переписать в виде

$$H = -P \log \frac{P}{e}. \quad (9)$$

(e — основание натурального логарифма; заметим также: $\ln(1 - P) \approx -P$).

В частности, под P можно понимать рассмотренную ранее вероятность аварийного исхода очередной, следующей за контролируемым событием, контрольной операции. В этом случае величина H в информационных единицах дает величину неопределенности результата этой операции. Естественным, что величина H , однозначно связанная с P , характеризует качество выполнения контрольных операций в той же степени, что и величина P , и может быть принята за меру качества централизованного контроля.

Можно остановить свой выбор на частной информации, получаемой от сообщения, что исход контрольной операции, следующей за контролируемым событием, благоприятен.

$$I = -\log(1 - P) \approx \frac{1}{\ln 2} P. \quad (10)$$

и т. п.

Напомним, что вероятность P определяет долю пропущенных контролируемых сообщений, обусловленных дискретностью активного контроля. Так, $P = 0,01$ означает, что в среднем из каждых ста контролируемых событий одно событие остается необнаруженным контролирующим устройством. Это равносильно появлению одного аварийного события на каждые сто контролируемых. Равенство P нулю означает, что равна нулю и доля потерянных «предупредительных» сообщений. Очевидно, в этом случае равны нулю и оба приведенных информационных показателя. С ростом вероятности P в пределах участка ее малых значений, примерно, линейно растут H и I (рис. 4). Это показывает, что вероятностный показатель P как мера качества централизованного контроля и информационные показатели H и I по существу равнозначны.

В заключение приведем пример расчета на применение полученных результатов.

Пусть два технологических параметра с числовыми показателями σ и ω , равными соответственно

$$\sigma_1 = 10 \text{ ед.}, \omega_1 = 0,020 \text{ 1/сек};$$

$$\sigma_2 = 20 \text{ ед.}, \omega_2 = 0,015 \text{ 1/сек.}, —$$

циклически контролируются с помощью одного опрашивающего устройства. Величина запаса нормы для обоих параметров одинакова и равна $\Delta x = 10$ ед. Цикл контроля $\tau_0 = 10$ сек. Определим качественные показатели контроля для каждого из параметров.

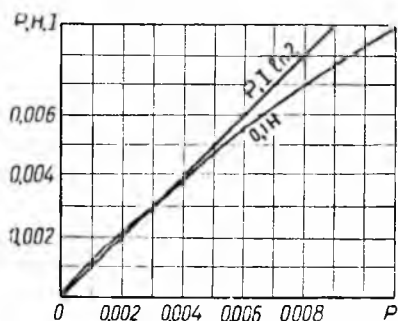


Рис. 4. К сопоставлению вероятностных и информационных показателей качества.

Согласно формуле (5), один из типовых качественных показателей контроля — характеристический параметр запаздывания — равен

$$\lambda_1 = 0,2; \quad \lambda_2 = 0,3.$$

Вероятностный показатель качества контроля найдем из приближенного равенства

$$P \approx \phi\left(\frac{1}{\sqrt{2}\lambda}\right),$$

т. е.

$$P_1 \approx 0,6 \cdot 10^{-6}, \quad P_2 \approx 0,9 \cdot 10^{-3}.$$

Теперь на основании формул (9) и (10) легко перейти к информационным показателям

$$H_1 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ бит}, \quad I_1 = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ бит};$$

$$H_2 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ бит}, \quad I_2 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ бит}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ю. Кнеллер. Об определении и специфике автоматического контроля. «Автоматика и телемеханика», 1962, № 4.
2. И. И. Гребень, А. Д. Большевцев. Централизованный контроль с переменным шагом опроса контролируемых пунктов, ч. I и II. «Автоматика» 1967, № 6; 1968, № 5.
3. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1964.
4. С. Голдман. Теория информации. Изд-во иностр. лит., 1957.
5. В. И. Рабинович, М. П. Папенко. Информационные характеристики средств измерения и контроля. Изд-во «Энергия», 1968.

СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕБЫВАНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПАРАМЕТРА ВНУТРИ НОРМЫ

А. Д. Большевцев

Харьков

Один из показателей качественного течения технологического процесса — его среднее время непрерывного пребывания внутри нормы. Необходимо найти численную зависимость этого показателя от величины нормы и априорных вероятностных характеристик контролируемого процесса. Ниже приводится решение задачи для нормального стационарного случая. Полученный результат сопоставляется с допустимой длительностью шага опроса контролируемого объекта при контроле с измерением.