

Рис. 4. Изменение значений коэффициента вариации годового стока (C_v) при различной разрезке гидрологического года

На рисунке 4 представлен график зависимости от разрезки года средних (для малых рек Беларуси) значений коэффициента вариации (C_v). Исследованы 35-летние ряды наблюдений за стоком на 42-х водосборах малых рек Беларуси.

На графике четко обозначены два пика повышения коэффициента вариации – при разрезке года по апрелю и августу. Первый всплеск C_v обусловлен тем, что при подобной разрезке года, когда друг за другом следуют поздняя весна одного года и ранняя следующего, два пика водности попадают в один гидрологический год, вызывая завышение коэффициента вариации. В среднем на малых реках Беларуси в период весеннего половодья формируется около 30% объема годового стока (в отдельные годы – 50%). Это обстоятельство приводит к погрешностям в расчетах. По аналогичной причине занижается весенний сток, когда накладываются ранняя весна

предыдущего и поздняя весна последующего годов. Соответственно завышается коэффициент вариации C_v .

При разрезке года по маю, значение C_v минимально, в июне – июле оно возрастает, достигая второго максимума в августе, и затем плавно снижается с сентября по декабрь, повторяя с запаздыванием на 1 месяц картину распределения норм атмосферных осадков.

Материалы проведенных исследований способствуют более точному обоснованию начала гидрологического года и максимальному снижению влияния на расчетные воднобалансовые величины параметра ΔW . Кроме того, нами получены модели расчетных зависимостей для оценки величин стока в реальные годы при косвенном учете информации о годовом стоке, атмосферных осадках, дефицитах влажности воздуха и др. с разрезкой гидрологического года по 1 июля.

УДК 658.26

Северянин В.С.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Переменные во времени и пространстве процессы (колебания давления, скорости, светимости, температуры, концентрации и т.д.) могут изменять конечные интегральные технологические характеристики (выгорание, смещение, теплоемкости, скорости реакций). Примером может служить пульсирующее горение, когда автоколебания приводят к интенсификации горения, т.е. к повышению тепловой мощности огневых установок. Объяснение этому исследователи находят в генерации переменным давлением переменных скоростей обдувания топлива. Однако если посмотреть на график скорости, когда синусоидальная часть накладывается на стационарную прямую, то можно видеть, что среднеинтегральная скорость обдувания будет та же. Поэтому повышение скорости горения требует более глубокого анализа.

Пусть имеется какая-то величина A (далее будем называть ее аргументом, он может зависеть от других величин, но

в данном случае она является определяющей), которая принудительно или самостоятельно (в автоколебательном режиме) может изменять свою как скалярную, так и векторную величину. Для начала будем рассматривать ее изменения по синусоидальному закону, хотя он может быть любым, при этом не важно – временные или пространственные это изменения. Пусть аргумент A влияет на другую величину B , которую назовем обобщенной функцией, или просто функцией. Зависимость

$$B = f(A) \quad (1)$$

может быть любой, например, ее можно представить как функцию скорости горения от скорости обдувания, температуры, концентрации и т.д.

Анализ удобно вести при помощи графического построения, представленного ниже рисунками 1 – 6. Если в точке M зависимости (1) созданы условия, при которых A изменяется,

Северянин Виталий Степанович. Д.т.н., профессор каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017. г. Брест, ул. Московская, 267.

например, во времени τ в виде зависимости "а" (на рисунках ось синусоиды A повернута нормально относительно линии абсцисс функции (1)), то функция B во времени будет представлена линией "b". Среднее значение функции B в точке M будет равно

$$B_{cp} = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_1^2 B(A) \cdot d\tau \quad (2)$$

(здесь 1, 2 – границы анализа). Очевидно, что при линейной зависимости (1), рис. 1, среднее значение B_{cp} равно значению функции при A_{cp}

$$B_{cp}^{\pi} = B|_{A_{cp}} \quad (3)$$

Это положение сохраняется и при задержке изменения B (при гистерезисе во времени). Таким образом, линейная зависимость (1) не должна приводить к каким-либо особенностям при меняющемся аргументе A .

Пример нелинейной зависимости (1) показан на рис. 2. Из-за бóльшего прироста B выше точки M , чем при таком же изменении A ниже точки M , линия "b" изображается несколько иначе, чем на рис. 1. Верхняя ее часть более вытянута, чем нижняя. Поэтому ось синусоиды "b" на рис. 2 находится выше, чем для случая линейной (1). Поэтому среднее значение функции за счет нелинейности увеличивается на Δ . Здесь

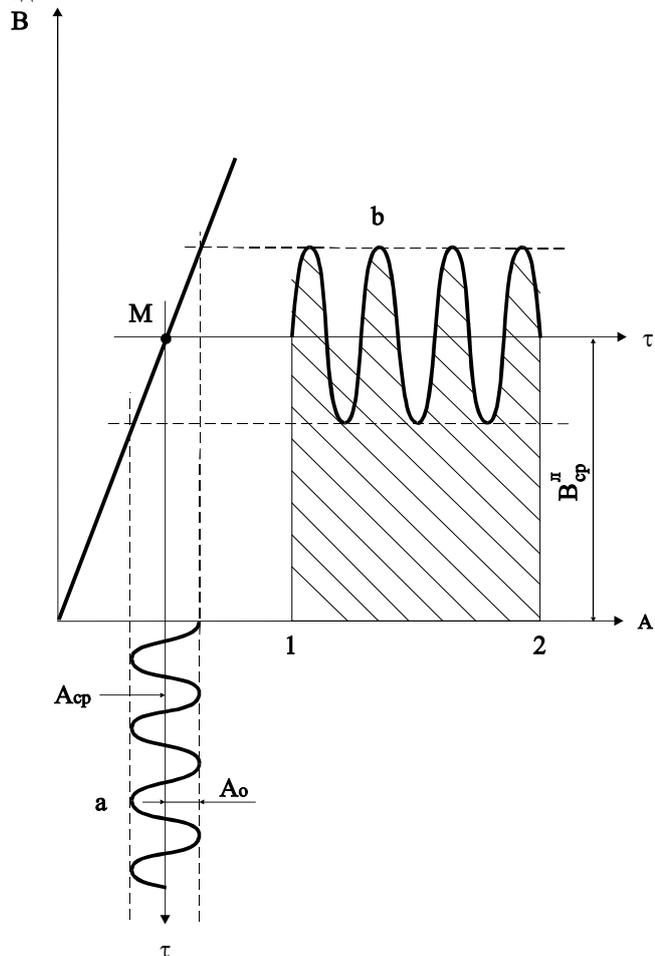


Рис. 1

$$B_{cp}^{нл} = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_1^2 B^{нл}(A) \cdot d\tau \quad (4)$$

$$\Delta = B_{cp}^{нл} - B|_{A_{cp}} \quad (5)$$

Величину $B_{cp}^{нл}$ можно определить так же

$$B_{cp}^{нл} = \frac{1}{2} (B|_{A_{max}} - B|_{A_{min}}) + B|_{A_{min}} \quad (6)$$

где первое слагаемое в скобках – функция B при максимальном аргументе A , второе – при минимальном. Тогда абсолютный прирост функции при меняющемся аргументе за счет нелинейности

$$\Delta = \frac{1}{2} B|_{A_{min}} + \frac{1}{2} B|_{A_{max}} - B|_{A_{cp}} \quad (7)$$

а относительный прирост функции

$$\delta = \frac{B_{cp}^{нл} - B|_{A_{cp}}}{B|_{A_{cp}}} = \frac{\int_1^2 B^{нл}(A) \cdot d\tau}{(\tau_2 - \tau_1) \cdot B|_{A_{cp}}} - 1 \quad (8)$$

Оказывается, если функция (1) по рис. 2 монотонная, то относительный прирост функции δ , в частности, выше при малых ее значениях, т.е. у полюса ее координат. Величина δ может быть и отрицательной. Этот пример показан на рис. 3. Здесь нижняя ветвь линии "b" больше верхней, поэтому $\delta < 0$.

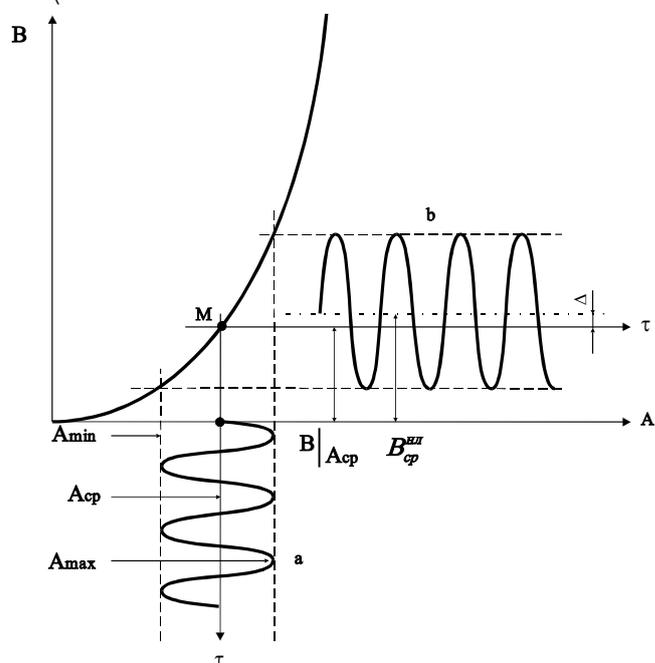


Рис. 2

Интересны зависимости для симметричной функции (1), рис. 4. Здесь даже при переходе функции и аргумента через "0" среднее значение результирующей функции положительно. Физическим аналогом этой функции является процесс обдувания частицы топлива осциллирующим газовым потоком (пульсации без среднерасходной составляющей). Как

условлено, в диффузионной зоне reagирования скорость горения зависит в основном от доступа кислорода, который поставляется потоком воздуха. Здесь нелинейность функции увеличивает ее среднее значение "поворотом" вверх частей линии "b", соответствующих отрицательным значениям аргумента A .

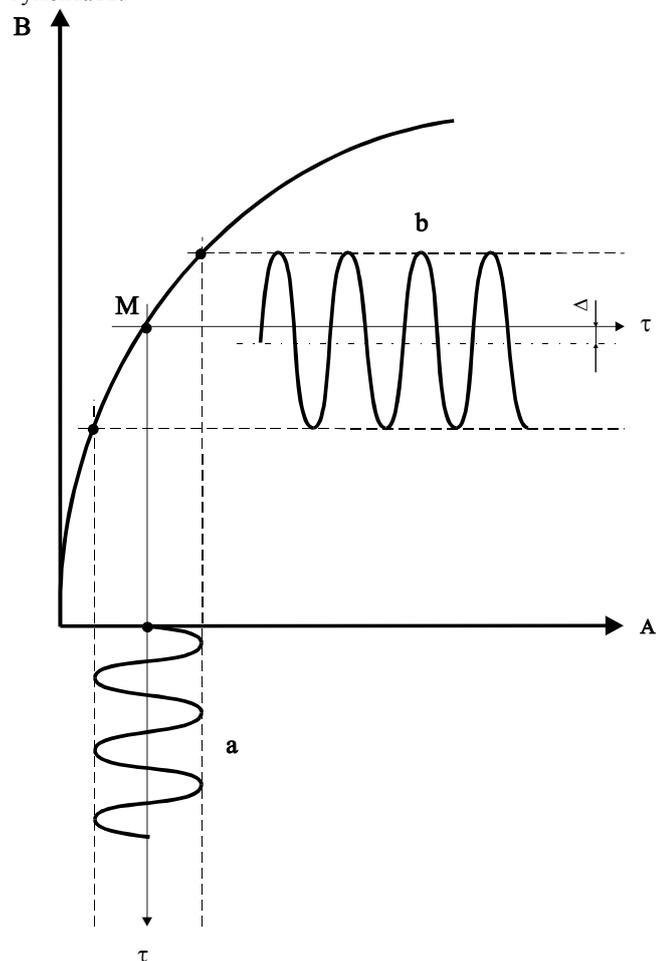


Рис. 3

Для одной и той же функции (1) возможны случаи положительного и отрицательного значения δ и Δ , рис. 5. Если же точка M совпадает с точкой перегиба функции (1), то при любой амплитуде колебания A , не выходящей за пределы симметрии (1) около M , всегда $\Delta = 0$.

Если колебания A происходят вокруг экстремальной точки функции, как показано на рис. 6, то для случая максимума всегда

$$B_{sp}^{пл} < B|_{A_{sp}}$$

для минимума – утверждение противоположно. Интересно отметить, что период изменения функции B может быть другим, чем у аргумента A (T_1 и T_2 на рис. 6).

В качестве примера рассмотрим влияние обдувания на скорость горения. Тогда функция (1) будет иметь вид $B = A^2$, так как динамическое давление, сдувающее продукты сгорания и доставляющее окислитель, пропорционально квадрату скорости потока. Если параметр A изменяется в данной точке с частотой $2\pi/T$ (T - период колебаний) и

амплитудой A_0 по синусоидальному закону, то функция B во времени τ

$$B = \left(A \pm A_0 \sin \frac{2\pi}{T} \tau \right)^2.$$

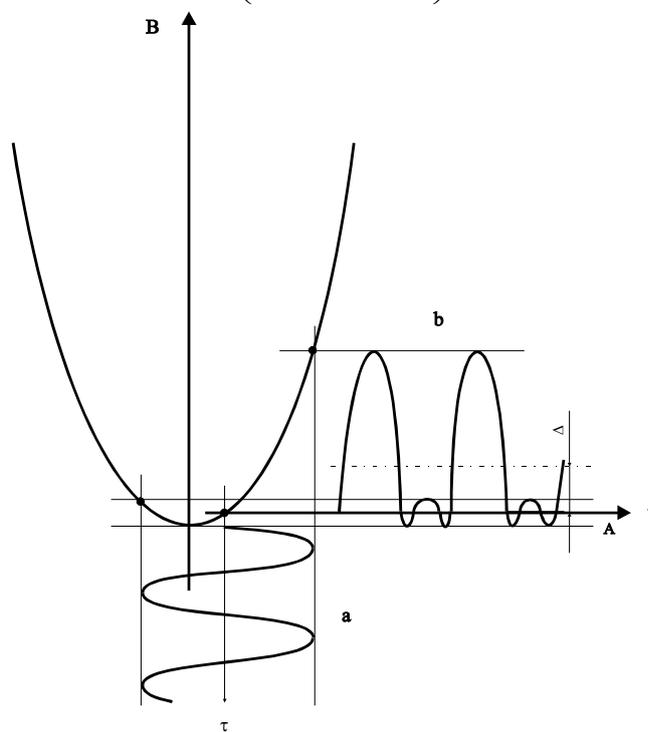


Рис. 4

Тогда по (4) и (5) имеем

$$\Delta = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} \left(A \pm A_0 \sin \frac{2\pi}{T} \tau \right)^2 d\tau}{\tau_2 - \tau_1} - A^2.$$

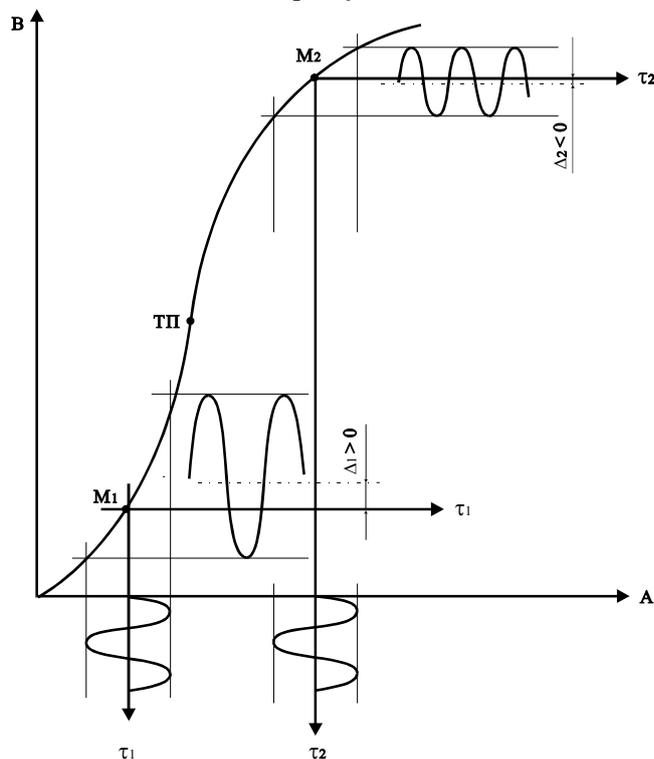


Рис. 5

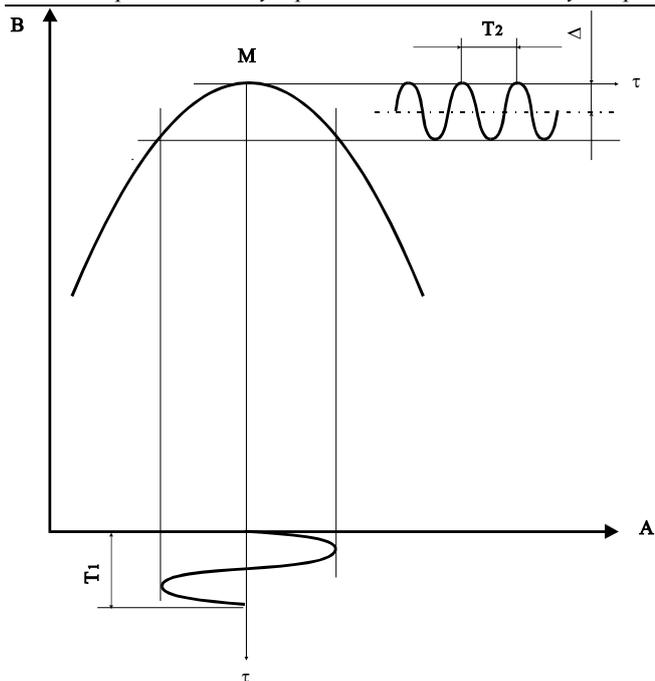


Рис. 6

После вычисления определенного интеграла, приняв $\tau_2 - \tau_1 = T$, получаем

$$\Delta = A_0^2.$$

Для линейной функции (1), если аргумент A изменяется по любому закону всегда $\Delta = 0$.

УДК 534.142

Новосельцев В.Г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СЛОЕВОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Для анализа процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива [1] проведены численные эксперименты на основе физико-математической модели, предложенной в [2].

Для проведения численных экспериментов использована модель устройства слоевого пульсирующего горения, состоящая из жаровой трубы, воздуховода, горелки в виде плоского дна с вмонтированными в нее трубками для подачи воздуха, показанная на рис. 1. Основные геометрические размеры модели, которые в дальнейшем варьировались, следующие:

$H=0.5$ м, $L=2$ м, $d=0.15$ м, горелки: $h_{mp}=0.018$ м,

$d_{mp}=0.006$ мм. Количество трубочек горелки – 75 штук.

Решая дифференциальные уравнения при помощи программы МATHCAD методом Рунге-Кутты, получены графики зависимости перемещения газа во времени на участках $[0; H]$, $[H; H+h_{mp}]$, $(H+h_{mp}; L]$. Путем комбинирования этих графиков на промежутках соответственно $[0; H]$, $[H; H+h_{mp}]$, $(H+h_{mp}; L]$, получен график перемещения газа во

Таком образом, для принятой элементарной параболы абсолютный прирост функции обусловлен амплитудой колебания A , и если период колебаний T не влияет на какие-либо характеристики процесса, прирост Δ не зависит от T . Если период T сам является функцией, или его действие многосторонне, расчет усложняется, но идея и порядок расчета прежние.

Относительный прирост функции для этого же примера, согласно (8)

$$\delta = \frac{\int_0^T \left(A \pm A_0 \sin \frac{2\pi}{T} \tau \right)^2 d\tau}{T \cdot B \Big|_{A_{cp}}} - 1 = \left(\frac{A_0}{A} \right)^2$$

Итак, если отождествлять эффективность топочного процесса с увеличением скорости горения топлива, то ее можно оценить, используя вычисленные δ и Δ .

Важным вопросом является определение суммарного эффекта от действия многих аргументов, влияющих на скорость горения. Вряд ли правильным будет простое суммирование δ и Δ . Поэтому предлагается использовать понятие, численно равное обратной величине относительного прироста функции при меняющихся аргументах:

$$H = \sum \frac{1}{\delta_i} = \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} + \dots$$

Тогда нестационарный топочный процесс можно охарактеризовать параметром $\mathcal{E} = 1/H$, сравнивая его со стационарным. Исходя из вышеприведенных условий, очевидно, что эффективность нестационарности выражается положительной величиной \mathcal{E} . Расчеты подтверждают, в частности, рассматриваемое преимущество пульсирующего горения.

времени, показанный на рис. 2. Из рис. 2 видно, что максимальная амплитуда пульсаций – по торцам трубы, минимальная – посередине трубы, то есть пучность смещения находится посередине трубы, узлы смещения – по концам трубы. Скачок перемещения – в трубках горелки за счет изменения скорости движения воздуха из-за изменения сечения. После прохождения газом трубок горелки за счет горения происходит увеличение скорости движения газа, что на рисунке иллюстрируется разным углом наклона частей графиков после координат, соответствующих местоположению горелки по отношению к углу наклона частей графиков, соответствующих расстоянию до горелки.

Путем изменения геометрических характеристик проведено исследование (и построены графические зависимости) влияния на процесс изменения длины трубы, угла наклона трубы, самотяги, потерь на трение по длине трубы, потерь давления в слое, амплитудного значения давления газа. Получены графики перемещения газа во времени при изменении амплитудного значения давления.

Новосельцев Владимир Геннадьевич. Ассистент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017. г. Брест, ул. Московская, 267.