

(эмульсия) при электроэрозионной обработке непосредственно находится под электрическим полем, то электрические заряды будут играть роль дополнительного “стабилизатора”, препятствующего расслоению эмульсии. Учитывая вышесказанное, возможно применение полученной эмульсии в производстве продолжительность стабильности возрастет в несколько раз. Чем дольше рабочая среда будет находиться в процессе обработки, тем дольше будет сохранять стабильность. Если в свободном состоянии полученная эмульсия сохраняет стабильное состояние без признаков расслоения, определенный промежуток времени (в зависимости от процентного соотношения компонентов), то при нахождении в рабочем состоянии этот промежуток может возрасти в 2-3 раза.

**Список литературы:** 1. Акопян М. Г., Христафорян С. Ш., Акопян Г. Г. Некоторые наблюдения о рабочих средах, используемых при электроэрозионной обработке. // Ежегодный сборник материалов ГИУА, Ереван, 2006, т. 1, - стр. 297- 300: 2. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки // Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др.; Под общ. ред. В. А. Волосатова. – Л.: Машиностроение. Ленинград. 1988. – 719 с. 3. Размерная электрическая обработка металлов / Б. А. Артамонов, А. Л. Вишницкий и др.; Под ред. А. В. Глазкова. – М.: Высшая школа, 1978. – 336 с. 4. Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. – М.: Высшая школа, 1983. – 247 с. 5. Большая советская энциклопедия - ст. 510, т. 11, главный редактор А. М. Прохоров, М., издательство “Советская энциклопедия”, 1973. 6. Наука о коллоидах, под ред. Г. Кройта, пер. с англ., т.1, М., 1955

Сдано в редакцию 19.12.07

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАРУШЕНИЯ БАЛАНСА ГАЗА ПО ГАЗОПРОВОДУ**

**Андришин М.П., Игуменцев Е.А., Игуменцева Н.В.**  
(УМГ «Киевтрансгаз», УИПА, г.Киев, г. Харьков, Украина)

*The presented way of the finding additional hidden disbalanses of receipts and sharing the gas in gasmain. The way is founded on calculation of the factor to correlations of the temporary rows of receipts and distribution and comparison it with standard. Master importances factor are received by means of experiment on GRS "Hotov" and Reshetilovka meaning node. On UMG "Kievtransgaz" is discovered additional disbalans, not exceeding inaccuracy measuring instrument.*

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Газотранспортные предприятия допускают неточности вследствие корректируемого измерения расхода газа, что не позволяет установить баланс газа по газопроводу. Причиной неточностей служат систематические погрешности измерений, а также потери газа (мнимые и реальные) в отдельных нитках газопровода [1]. Выявление объема и мест корректируемых измерений и утечек в газопроводе является нетривиальной задачей, для которой в настоящее время не разработано функциональных методик. Практика применения статистических методов в разных областях науки и народного хозяйства позволяет предположить, что их применение позволит решить вышеуказанные проблемы и в газовой промышленности.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. В настоящее время сбор и обработка статистической информации прихода и распределения газа по газотранспортной системе Украины ведется с помощью централизованной базы данных «АРМ диспетчера Трансгазу», основанной на измерениях современными расходомерами и вычислении физических характеристик газа [1]. Идея применения статистических методов (в частности, корреляционных функций) для решения указанных проблем представлена в работе [2]. Здесь разность суточного расхода  $D(t_i)$  между приходом  $X(t_i)$  и распределением  $Y(t_i)$  в  $i$ -тые сутки измерений  $D(t_i) = X(t_i) - Y(t_i)$ ; ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), где  $t$  — время;  $n$  — число суток измерений временного ряда прихода и распределения.

Поскольку в газотранспортной системе существует изменение запасов газа  $\alpha(t_i)$ , связанное с колебаниями давления, температуры и погрешностью измерений  $\gamma(t_i)$ , то значение дисбаланса  $\beta(t_i)$  между приходом и распределением имеет вид  $\beta(t_i) = D(t_i) - \alpha(t_i) - \gamma(t_i)$ ; ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), где  $\alpha(t_i) = Z(t_i) - Z(t_{i-1})$ ,  $Z(t_i)$ ,  $Z(t_{i-1})$  — запас газа в газопроводе в  $i$ -тые и  $(i-1)$  сутки измерений. Несложно показать, что среднее изменение запаса газа  $\bar{\alpha}$  равно:  $\bar{\alpha} = [Z(t_n) - Z(t_1)]/n \approx 0$ , а для вычисления среднего значения дисбаланса при достаточно длинных временных рядах  $n \rightarrow \infty$  необходимо посчитать среднюю разность  $\bar{D}$  и среднюю погрешность измерений  $\bar{\gamma}$ . При этом дисперсия разности равна  $\sigma_D^2 = \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_\gamma^2$ , где  $\sigma_\beta^2$ ,  $\sigma_\alpha^2$  и  $\sigma_\gamma^2$  — дисперсии дисбаланса, изменения запаса газа и погрешности измерения разности.

Коэффициент корреляции [3] между  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$ :  $K[X(t_i), Y(t_i)] = \frac{\sum_{i=1}^n [X(t_i) - \bar{X}][Y(t_i) - \bar{Y}]}{n\sigma_x\sigma_y}$ , где  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$  — средние и дисперсии прихода и распределения, является информационным параметром и может быть представлен в следующем виде [2]:

$$K[X(t_i), Y(t_i)] = 1 - \eta_x \eta_y / 2; \quad \eta_x = \sigma_D / \sigma_x; \quad \eta_y = \sigma_D / \sigma_y. \quad (1)$$

Для вычисления средней и дисперсии дисбаланса, кроме измеряемых параметров  $D(t_i)$ ,  $\alpha(t_i)$ ,  $Z(t_i)$  необходимо определить дополнительно статистические характеристики погрешности измерений разности.

Цель исследований данной работы заключается в том, чтобы с помощью специально подготовленного макета провести длительные испытания и определить статистические характеристики разности  $D(t_i)$  и погрешности ее измерений.

Результаты исследований. Измерения проведены на ГРС «Хотов», где последовательно установлены счетчики расхода газа: диафрагмовый («НИТС»), «Турбо» и «Вихрь». Расчет расхода для каждого счетчика произведен в соответствии с правилами РД 50-213-80. Измерения проводились в зимний и летний периоды с интервалом измерений  $t_i = 1$  час для больших и малых значений расхода.

С целью выделения из временных сигналов  $X(t_i)$ ,  $Y(t_i)$  периодических (гармонических) составляющих временные ряды представлены в виде спектра. В общем случае эта операция выполняется с помощью преобразования Фурье [4]. Так как в расчетах используются данные, представляющие собой дискретную конечную последовательность ежечасовых значений расхода газа, то применяется дискретная аппроксимация финитного быстрого преобразования Фурье [5]:

$$F[X(k/n)] = \sum_{i=1}^n X(t_i) \cdot \exp(-j2\pi ki/n); \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

где  $j^2 = -1$ ;  $n$  — объем временной выборки;  $N$  — число гармоник спектра.

Применение алгоритма (2) с помощью пакета MathCad позволяет получить амплитуду отдельных  $k$ -тых гармоник спектра  $F[X(k/n)]$ . Поскольку применяемые при анализе спектральные соотношения связаны быстрым преобразованием Фурье, которое требует выбирать длину выборки  $n = 2^m$ , где  $m$  — целое число, то удобно выбрать  $m = 11$ , что соответствует  $n = 2048$  и значительно превышает минимально допустимую выборку, равную  $n = 50$  [6].

Спектральный анализ временных рядов выборки  $n = 2048$ , где представлены относительные значения амплитуд  $k$ - тых гармоник  $F[X(k/n)]/\sigma_X$  (Рис. 1), показывает, что кроме дискретных периодических составляющих и широкополосного шума, спектр содержит два пика на малых частотах (первая и вторая гармоники), что обусловлено наличием линейного тренда временных рядов  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$  [6]. Поэтому кроме компоненты, описываемой периодическими функциями с сезонными (один месяц —  $k = 3$ ) и технологическими периодами (одна неделя —  $k = 10$  и один день —  $k = 86$ ), а также случайного процесса, в рядах наблюдается плавное долгосрочное движение, описываемое некоторой непрерывной функцией, обусловленной приходом и потреблением газа.

Проведена проверка случайности временных рядов с помощью метода поворотных точек и метода разностей [7], что позволило обнаружить тренды в рядах  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$  ГРС «Хотов» и отсутствие тренда для рядов разности  $D(t_i)$ . Спектры  $F[D(k/n)]$  КС не содержат увеличенных первых гармоник, мала и гармоника с периодом в один месяц ( $k = 3$ ), одну неделю ( $k = 10$ ) и один день ( $k = 86$ ). Спектр разности  $F[D(k/n)]$  представляет собой широкополосный Гауссов процесс, характерный для «белого» или «розового» шума. Временной сигнал, образованный при вычитании  $D(t_i) = X(t_i) - Y(t_i)$  является стационарным случайным процессом, т.к. амплитуды гармоник спектров  $F[X(k/n)]$  и  $F[Y(k/n)]$  для  $k = 1, 2, K, N$  отличаются между собой на статистически одинаковую случайную величину.

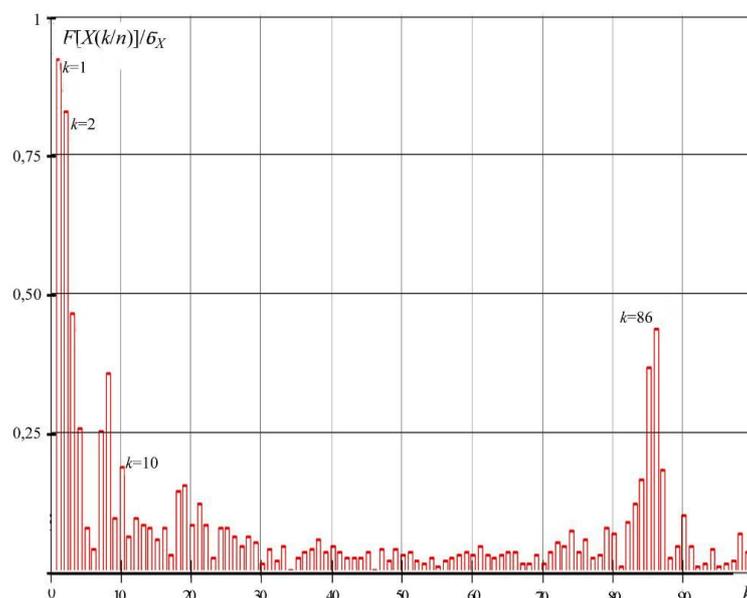


Рис. 1. Спектр временного ряда прихода  $X(t_i)$  ГРС «Хотов»

Измерения проведены на небольшом герметичном (без потерь газа) отрезке газопровода, поэтому составляющие  $\alpha(t_i)=0$  и  $\beta(t_i)=0$ . Таким образом, в наблюдаемом эксперименте соблюдаются условия:  $\bar{D}=\bar{\gamma}$  и  $\sigma_D=\sigma_\gamma$ . Результаты расчетов средних, дисперсий и коэффициентов корреляции представлены в Таблице. Коэффициент вариации по дисперсии  $v_\gamma=\sigma_\gamma/\sqrt{\sigma_x\sigma_y}$  не превышает 5%, а коэффициент корреляции близок к единице (см. Таблицу 1). Измерение разности  $D(t_i)$  на замерных узлах имеют аналогичную погрешность  $v_\gamma=5\%$ . На Решетилковском замерном узле коэффициенты корреляции по всем десяти ниткам замерного узла  $K>0.99$ , а при измерении  $D(t_i)$  по четырем ниткам получена погрешность, равная  $v_\gamma\approx 5\%$ .

Таблица 1. Коэффициенты корреляции прихода и распределения газа ГРС «Хотов»

Счетчик расхода газа	Кол-во замеров	Среднее значение, $10^3\text{Нм}^3/\text{час}$	С.к.з., $10^3\text{Нм}^3/\text{час}$		Коэффициенты корреляции			
			общее ( $\sigma$ )	остат. $((1-\beta)\sigma)$	«Турбо» (X)	«НИТС» (Y)	Разность (D), общая	Разность (D), остаточная
«Турбо» (X)	2048	136,8536	25,1215	18,0472	1,000	0,999	0,341	0,273
«НИТС» (Y)	2048	135,2308	24,6999	17,8337	0,999	1,000	0,292	0,229
Разность (D), общая	2048	1,6228	1,3311		0,341	0,292	1,000	0,718
Разность (D), остаточная	2048	1,6228		0,8502	0,341	0,292	0,718	1,000

В УМГ «Киевтрансгаз» эксплуатируются две автономных системы транспорта газа: Киевская система (КС) и Экспортный газопровод (ЕГ). Используя программу «АРМ диспетчера Трансгаз'а» несложно определить коэффициенты вариации по дисперсии для изменения запаса газа  $\alpha(t_i)$  для двух систем: по КС  $v_\alpha=25\%$ , по ЕГ —  $v_\alpha=6\%$ . Допустимые потери газа, принятые для газопроводов СНГ [1], составляют 3%, тогда эталонные значения коэффициента корреляции будут равны: по КС —  $K_s=0.97$ ; по ЕГ —  $K_s=0.99$ . Представленные значения являются критериями фиксации правильного определения дисбаланса.

При больших значениях измеряемых расходов, близких к показаниям верхней шкалы приборов, возникают дополнительные погрешности периодических составляющих временных рядов  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$ , т.е. трендов ( $k=1; k=2$ ). В этом случае закон распределения вероятности фактического распределения  $p(D_i)$  значительно отличается от нормального. Гистограмма фактического распределения  $X(t_i)$  представлена на Рис. 2. Здесь  $N_i$  — число значений, попадающих в  $(i+1)$ -ый интервал наблюдений  $\Delta(i+1)=(i+1)\Delta-i\Delta$ ,  $i=1\text{K}r$  с фиксированным интервалом наблюдений  $\Delta(D_{\max}-D_{\min})/r$ , где  $r$  — число интервалов. Полученное распределение (см. Рис. 2) по виду напоминает распределение Райса, которое является композицией Гауссового и

гармонического распределений [4]. Отличие от распределения Райса заключается в том, что правый ( $N_{np}$  интервал  $r_{np}$ ) и левый ( $N_l$  интервал  $r_l$ ) максимумы плотности вероятности  $p(D_i)$  несимметричны.

Предположим, что полученное распределение является композицией периодического и Гауссового процессов. С целью выделения из плотности распределения  $p(D_i)$  периодического и Гауссового распределений проведено разложение в ряд Фурье временного ряда  $D_i$  [4, 5] с последующим отделением максимальных значений амплитуд спектра таким образом, чтобы спектр разделился на две части. К первой части отнесены неравномерные амплитуды, а во второй — образовался равномерный спектр белого шума. Применение обратного преобразования Фурье [4, 5] к разделенным частям спектра позволило получить периодический и случайный временные ряды.

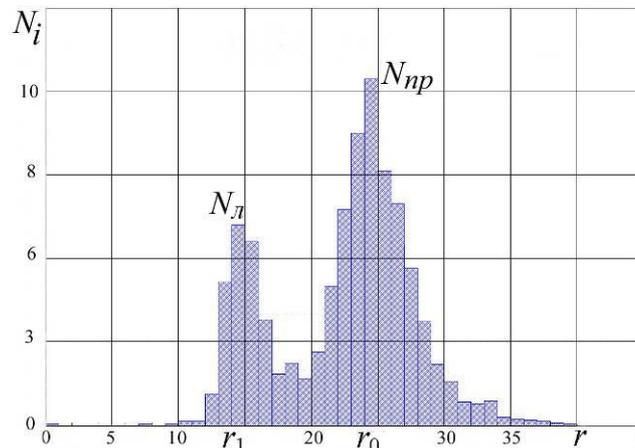


Рис. 2. Гистограмма разности расхода  $D(t_i)$  ГРС «Хотов».

Поскольку периодические составляющие образуют тренд разности, обусловленный трендами периодических составляющих прихода  $X(t_i)$  и распределения  $Y(t_i)$ , необходимо прежде разложить в ряд Фурье временные ряды  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$ , а затем отделить максимальные значения амплитуд и спектры разделить на две части. Первая часть определяет кривые регрессии (тренд), а вторая — случайные составляющие рядов в виде Гауссового процесса.

В качестве показателя интенсивности связи переменных  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$  с трендом использован коэффициент детерминации [7]:

$$B_x = \frac{\sum_{i=1}^n [(X(t_i) - \bar{X})(t_i - \bar{t})]^2}{\sum_{i=1}^n (X(t_i) - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}. \quad (3)$$

Коэффициент детерминации (3) указывает, какая часть полного рассеивания значений  $X(t_i)$  обусловлена трендом. Чем большую долю в общей дисперсии  $\sigma_x^2$  составляет дисперсия регрессии (тренда)  $\sigma_{xp}^2$ , тем лучше выбранная функция регрессии соответствует эмпирическим данным. Остаточная дисперсия  $\sigma_{xo}^2$  определяется случайными составляющими рассеивания и используется для характеристики неопределенности или неточности регрессии. Объясняемая регрессией и остаточная дисперсии вычисляются с помощью коэффициента детерминации из следующего соотношения [7]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Xp}^2 &= B_X \sigma_X^2; \\ \sigma_{Xo}^2 &= (1 - B_X) \sigma_X^2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Построив коэффициент корреляции между случайными составляющими рядов  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$ , получим:

$$K[X(t_i), Y(t_i)] = 1 - \frac{(1 - \beta_D) \sigma_D^2}{2\sqrt{(1 - \beta_x)(1 - \beta_y)} \sigma_x \sigma_y}. \quad (5)$$

На рис. 3 представлены временные зависимости первой и второй частей прихода  $X(t_i)$  на ГРС «Хотов» после применения обратного преобразования Фурье, а результаты расчетов средних, дисперсий и коэффициентов корреляции случайных составляющих приведены в таблице. Погрешности измерения разности и коэффициентов корреляции в этом случае сохраняются.

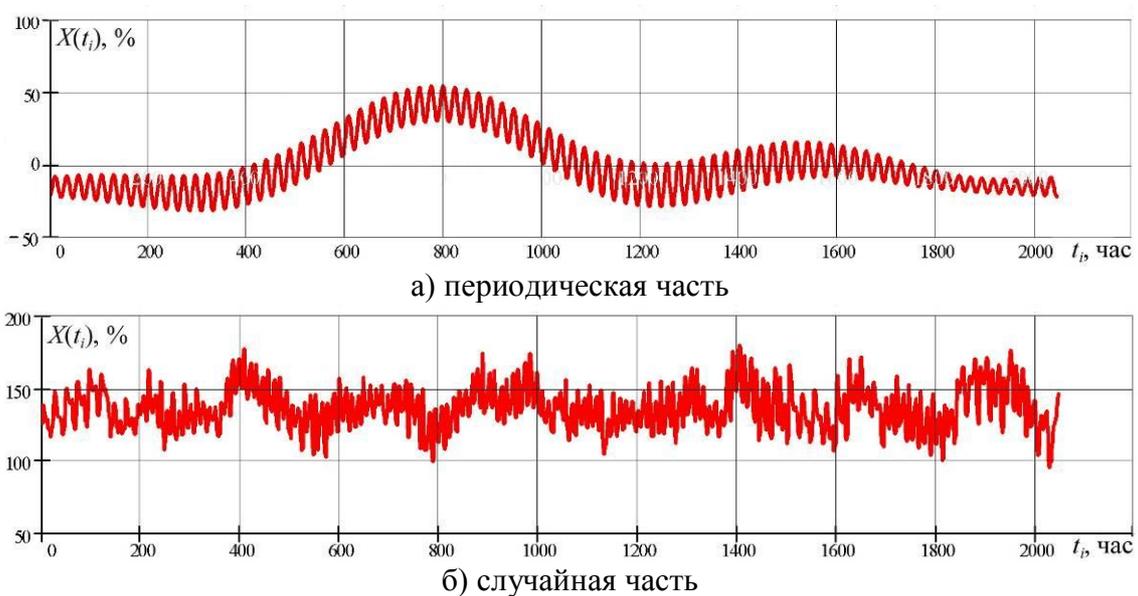


Рис. 3. Временные зависимости периодической и случайной частей прихода газа  $X(t_i)$  на ГРС «Хотов»

Сохранено и эталонное значение коэффициента корреляции  $K_0$  с учетом потерь и изменения запаса газа в газопроводе КС и ЕГ. По ЕГ  $K = 0.99 = K_0$ , что означает отсутствие потерь газа. По КС для общего случая  $K = 0.85 < K_0$  и для второй части, т.е. случайной составляющей  $X(t_i)$ ,  $Y(t_i)$ ,  $D(t_i)$  —  $K = 0.355 < K_0$ . Приведенные соотношения показывают, что в КС наблюдаются дополнительные потери газа. Эти потери могут быть образованы за счет корректировки измеренных значений расхода  $X(t_i)$  и  $Y(t_i)$ .

Коэффициент корреляции ЕГ не зависит от вычитаемых гармоник (т.е. от тренда) и равен  $K \approx 0.99$  во всем диапазоне вычитаемых амплитуд гармоник спектра. При потере газа (КС) коэффициент корреляции зависит от вычитаемых амплитуд гармоник и уменьшается в 2.4 раза, что может быть использовано для повышения информативности метода.

**Выводы.** Получены эталонные значения коэффициентов корреляции между приходом и распределением газа с помощью экспериментальных данных, измерения расхода на ГРС «Хотов».

Приведенные значения в виде дисбаланса газа по КС УМГ «Киевтрансгаз» не

превышают погрешности измерительных приборов [1], однако, дают дополнительные значения дисперсий дисбаланса и нарушают Гауссовский закон распределения временных рядов  $D(t_i)$ .

Применение преобразования Фурье с последующим вычитанием амплитуд гармоник спектра позволяет улучшить информативность метода. По ЕГ транспорт газа осуществляется без дополнительных потерь, а по КС обнаружены потери с несколько искаженными данными отчетности.

Перспективы дальнейших исследований. Разработанную модель дисбаланса для повышения точности необходимо скорректировать путем исключения трендов прихода и распределения, связанных с сезонной неравномерностью. Кроме того, дополнительно провести оценку влияния изменения запаса газа  $\alpha(t_i)$  на дисбаланс с применением коэффициентов корреляции между  $\alpha(t_i)$  и  $D(t_i)$  с дальнейшей корректировкой вычисленных запасов газа в газопроводе.

**Список литературы:** 1. Андрієшин М.П. і др. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. – Івано-Франківськ: ПП. “Сімик”, 2004. – 160с.: іл. 2. Марчук Я.С., Игуменцев Е.А., Добров В.Л., Прокопенко Е.А. Автоматизированный контроль дисбаланса прихода и распределения газа магистрального газопровода // Вестник ХГУ «Проблемы автоматизированного электропривода», Харьков: ХГПУ. — 2007. — С.211-216. 3. Игуменцева Н.В., Пахомов В.И. Статистический анализ результатов экспериментов и наблюдений. — Харьков: СМІТ, 2005. — 236с. 4. Бендат Дж., Пирсон А. Применение корреляционного и спектрального анализа / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 312с. 5. Дьяконов В. Mathcad 8/2000. Специальный справочник. — СПб.: Изд-во «Питер», 2000. — 592с. 6. Иванов В.В. Анализ временных рядов и прогнозирование экономических показателей. — Харьков: изд-во Харьковского национального университета, 1999. — 127с. 7. Ферстер Э., Рёнци. Методы корреляционного и регрессионного анализа. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 301с.

Сдано в редакцию 12.12.07

## ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КУТА КОНТАКТУ ВІДРІЗНОЇ ФРЕЗИ

**Балицька Н.О., Панчук В.Г., Рублюк О.В.**

(ЖДТУ, НТУУ “КПІ”, ІФНТУНГ, м. Житомир, м. Київ, м. Івано-Франківськ, Україна)

*In the article is described the numerical method of computing the angle of the contact of detachable cutter with the billet in the process of cutting arbitrary profile for the elongation of entire working motion of cutter, including fitting and output of tool. The computer algorithm of calculation is represented.*

**Вступ.** Кут контакту інструмента при фрезеруванні є важливим параметром, що визначає хід процесу механічної обробки, його динаміку і зусилля різання. Розрахунок кута контакту дискової відрізної фрези з заготовкою є одним із етапів теоретичного розрахунку сил різання при відрізанні фрезами. Знати його значення необхідно для того, щоб визначити кількість зубців, які на даний момент часу знімають стружку в процесі різання.

В роботі [1] виконано дослідження кількості одночасно працюючих зубців в усталеному режимі симетричного і несиметричного фрезерування пластини, але не досліджено перехідні фази вривання і виходу інструменту, а в роботі [2] виконані розрахунки кількості одночасно працюючих зубців тільки для симетричної схеми