

УДК [005.336.3+006.83]:62(043.3)

**К.О. ДЯДЮРА**, д-р техн. наук,  
**В.М. НАГОРНИЙ**, канд. техн. наук, Суми, Україна

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ НА ОСНОВІ КЛАСИФІКУЮЧОЇ ФУНКЦІЇ**

Розглянуто удосконалювання статистичного керування технологічними процесами у машинобудуванні на основі контрольних карт за допомогою класифікуючої функції. За даними контрольних карт перевірені очікувані наслідки відмов металорізального обладнання і визначені дійсні моменти його підналагодження. Результатом досліджень є підвищення якості механічної обробки різанням при менших витратах.

Рассмотрено совершенствование статистического управления технологическими процессами в машиностроении на основе контрольных карт с помощью классифицирующей функции. По данным контрольных карт проверены ожидаемые последствия отказов металлорежущего оборудования и определены фактические моменты его подналадки. Результатом исследований является повышение качества механической обработки резанием при меньших затратах.

Considered the improvement of the statistical control of technological processes in mechanical engineering on the basis of the control cards using the classifier. According to the data of control charts checked the expected consequences of failures cutting equipment and defined the actual moments of his подналадки. The result of the research is to improve the quality of machining machining at a lower cost.

**Постановка проблеми.** Традиційний підхід до управління виробництвом, незалежно від виду продукції - це її виготовлення і контроль якості на основі статистичних даних для перевірення готових виробів і відбраковування тих, які не відповідають встановленим вимогам. Фундаментальною основою такого підходу є теоретико-ймовірнісні методи. Як правило, контроль продукції на виробництві побудований на перевірці постфактум, коли бракована продукція вже виготовлена. Натомість, ефективнішим є введення стратегії попередження втрат, що дозволяє уникнути зайвих витрат при початковому виробництві

непридатної продукції. Цього можна досягти, збираючи та аналізуючи інформацію для подальшого прогнозування результатів процесів виробництва [1]. Ця проблема є актуальною для різних галузей промисловості України і значною мірою стосується ефективності використання техніко-економічної інформації при забезпеченні якості складних виробів (СВ), таких як металорізальні верстати (МВ) [2], компресорне обладнання (КО) [3], поліграфічні паперорізальні машини (ПМ) [4] та інші [5]. Її можна виявити на різних етапах життєвого циклу (ЖЦ) СВ у машинобудуванні, які використовують для виготовлення продукції у різних галузях промисловості. У кількісно вимірних характеристиках продукції та процесів спостерігається мінливість [6]. Статичні методи допомагають вимірювати, описувати, аналізувати, тлумачити та моделювати цю мінливість навіть за відносно обмеженої кількості даних. Процес буде знаходитися у статистично керованому стані, якщо мінливість викликана тільки випадковими причинами [7]. Контрольні карти є ефективним засобом для розуміння мінливості процесів і допомагають досягти статистично керованого стану.

Існуючі стандарти на статистичні методи управління якістю засновані тільки для особливо стабільних і стійких технологічних процесів з великим обсягом вибірових даних. Проте сучасні умови, що характеризуються високим ступенем динамічності, роблять такий підхід не завжди обґрунтованим. Індивідуальний технічний стан СВ формується у процесі його виготовлення. У процесі експлуатації технічний стан СВ перебуває під впливом факторів, спрямованих на його зміну і відновлення. Сукупність цих дій, а також форм і методів їх реалізації становить один із найважливіших напрямів у дослідженні ефективного управління якістю СВ. Прогнозування технічного стану виробів на основі інформації, отриманої у результаті обробки даних від систем контролю, дозволяє раціонально спланувати проведення регламентних робіт, ремонту і заміну складових техніки, уточнити обсяги і терміни контролю об'єктів, спланувати застосування СВ у різних умовах роботи і тому подібне. Ефективне використання інформації від систем контролю вимагає створення інформаційної системи, яка повинна забезпечувати збір, обробку, зберігання та її розподіл. Інформаційна система є складовою

частиною системи управління процесами виробництва й експлуатації обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінка технічного стану СВ у цей час проводиться шляхом порівняння поточних значень контрольованих (діагностичних) параметрів з їх нормативними значеннями [8]. У роботі [9] показано, що статистичні методи оцінки і управління якістю, розроблені вітчизняними і зарубіжними вченими, можуть застосовуватися лише для великої кількості інформації про показники якості, і розраховані на масовий тип виробництва. Пов'язане це із застосуванням методів, що базуються на групуванні значень, і використанням спроможних, зміщених оцінок параметрів законів розподілу показників якості як випадкових величин. Для цих цілей розроблено нормативно-методичне забезпечення у вигляді галузевих стандартів.

Для підвищення конкурентоспроможності у сучасних умовах виготовлення машинобудівної продукції на замовлення під індивідуальні вимоги споживача при обмеженні обсягу інформації необхідний системний підхід до забезпечення і покращання її якості, що полягає в розробленні не тільки окремих методів, але і створенні інтегруючої методологічної бази, що дозволяє об'єднувати функції управління експлуатаційними властивостями виробу впродовж усього ЖЦ в єдиний технологічний процес [10]. При цьому реальний процес характеризується наявністю цілого ряду невизначеностей: неточний опис математичної моделі, неконтрольована зміна статичних і динамічних властивостей, дія на систему зовнішніх факторів, а також відмінність фактичних параметрів від розрахункових.

Щоб досягти кращого розуміння процесу, можна використовувати різні методи, наприклад аналіз видів і наслідків відмовлень (FMEA). Для цих цілей можуть бути використані контрольні карти [7] – графічний засіб представлення і зіставлення інформації, що базується на послідовності вибірок, які віддзеркалюють поточний стан процесу, із межами, встановленими на основі мінливості. Теорія контрольних карт розрізняє два види мінливості. Перший вид – випадкова мінливість через «випадкові причини» (відомі ще як «звичайні причини»). Унеможливлення чи

зменшення впливу звичайних причин вимагає управлінських рішень для виділення ресурсів на поліпшення процесу і системи. Другий вид мінливості являє собою реальні зміни у процесі. Вони можуть бути наслідком деяких обумовлених причин, не властивих процесу внутрішньо і можуть бути усунуті, принаймні теоретично. Метод контрольних карт допомагає визначити, чи дійсно процес досяг статично керованого стану на правильно заданому рівні або залишається в цьому стані. З погляду мінімальних вимог питання мінливості часто спрощують, наприклад: вироби з розмірами усередині допусків прийнятні, а вироби, що виходять з допусків, неприйнятні.

Однак для управління будь-яким процесом і зниження його мінливості повинні бути простежені її причини. Удосконалення процесу за допомогою контрольних карт є ітераційна процедура, у якій повторюються основні фази збору даних, управління й аналізу.

Для підвищення ефективності використання контрольних карт при оцінці поточного стану СВ у роботі пропонується використовувати класифікуючу функцію  $F_K$ . Ця функція дозволяє одночасно врахувати статистику і динаміку зміни технічного стану СВ.

Аргументами класифікуючої функції є поточна величина діагностичного параметра („статика”) і швидкість („динаміка”) його зміни. Для зручності обчислень ці параметри зведені до безрозмірного вигляду (1) [11]:

$$F_K = \beta \cdot A_{\text{відн}} + (1 - \beta) \cdot V_{\text{відн}} \quad (1)$$

де  $A_{\text{відн}} = \frac{A - A_0}{[A]_{\text{пр}} - A_0}$  – відносна величина діагностичного параметра

(«статична» складова);  $A, A_0$  – відповідно поточне і початкове значення діагностичного параметра;  $[A]_{\text{пр}}$  – значення діагностичного параметра,

перевищення якого неприпустиме;  $V_{\text{відн}} = \frac{T_{\text{ППР}} - T_0}{T_P - T_0}$  – відносна швидкість

зміни діагностичного параметра («динамічна» складова);

$T_{\text{ППР}}$  – напрацювання обладнання до чергового планово-запобіжного ремонту;  $T_0$  – напрацювання обладнання на момент початку регулярного контролю величини діагностичних параметрів;  $T_P$  – прогноз напрацювання

обладнання до настання гранично допустимого стану;  
 $\beta$  – коефіцієнт вагомості ( $\beta = 0 - 1$ ).

**Результати досліджень.** У таблиці 1 наведені результати експериментальних досліджень точності механічної обробки різанням заготовок із сталі 40Х токарними різцями із твердосплавними пластинками Т15К6. Похибка діаметрального розміру визначалася за формулою

$$\varepsilon = D_{CPi} - D_{CP0}, \quad (2)$$

де  $D_{CP0}$ ,  $D_{CPi}$  – відповідно значення діаметра оброблюваної деталі на початку і кінці проходу, мм.

Була встановлена границя похибки діаметрального розміру не більше 40 мкм [12]. Оцінка статистичної стабільності процесу виготовлення проводилась за допомогою створення контрольної карти для індивідуальних значень та ковзних розмахів, коли стандартні значення не задано.

Варіації усередині однієї партії виявилися нехтовно малими, так що було вирішено брати тільки одне спостереження з партії і встановлювати контрольні межі на основі ковзного розмаху послідовності партій.

$$\bar{X} = 34,9 \text{ мкм}, \quad \bar{R} = 2,4 \%$$

Таблиця 1 – Похибка діаметрального розміру для 10 послідовних вибірок заготовок із сталі 40Х

Номер партії	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varepsilon$ , мкм	29	31	32	35	36	38	30	35	40	43
$R$ , ковзний розмах	–	2	1	3	1	2	2	5	5	3

Лінії контрольної карти для ковзних розмахів  $R$ .

Центральна лінія:  $\bar{R} = 2,4$ ;

Верхня контрольна межа:  $BKM = D_4 \bar{R} = 3,267 \times 2,4 = 7,84$ ;

НКМ (оскільки  $n < 7$ , то НКМ не зображується).

Значення множників  $D_3$  і  $D_4$  беруть з [7, таблиця 2] для  $n=2$ . Оскільки карта розмахів демонструє статично керований стан, можна побудувати контрольну карту індивідуальних значень.

Лінії контрольної карти індивідуальних значень  $\varepsilon$ .

Центральна лінія:  $\bar{\varepsilon} = 34,9$  ;

Верхня контрольна межа:  $BKM = \bar{\varepsilon} + E_2 \bar{R} = 34,9 + (2,66 \times 2,4) = 41,28$ ;

Нижня контрольна межа:

$NKM = \bar{\varepsilon} - E_2 \bar{R} = 34,9 - (2,66 \times 2,4) = 28,52$ .

Формули для контрольних меж і значення коефіцієнта  $E_2$  наведено в [7, таблиці 3 та 4]. Контрольні карти приведено на рисунку 1.

У роботі [13] було встановлено, що похибка діаметрального розміру (пов'язана як із величиною зносу по задній поверхні  $h_3$ , так і з величиною радіального зносу  $\delta$  (коефіцієнт лінійної апроксимації  $R^2=0,9532-0,9932$ ). Це дозволяє у багатьох випадках процес контролю величини зносу різця, який складно реалізувати на практиці, замінити вимірюванням похибки діаметрального розміру деталі.

На наш погляд прогнозування моменту підналагодження технологічної системи або заміни різального інструменту треба проводити шляхом визначення моменту, коли розмір оброблюваної деталі досягне свого граничного значення.

Нижче наведені результати порівняльних досліджень точності прогнозних оцінок моменту підналагодження технологічної системи, що виконуються на основі контролю за величиною зношення різця (по задній поверхні  $h_3$  і радіального зносу  $\delta$ ) і похибки діаметрального розміру  $\varepsilon$ .

У результаті досліджень зношення і похибки діаметрального розміру деталі виконана апроксимація експериментальних даних аналітичною залежністю (1), що описує зміну діагностичних ознак залежно від довжини різання

$$A = A_0 + \alpha \cdot A_0 \cdot \left( \frac{L - L_0}{L_{zp} - L} \right)^n, \quad (3)$$

де  $A_0$  – початкове значення величини діагностичної ознаки;  $L_0, L$  – довжина різання відповідно на момент початкового і поточного визначення величини діагностичної ознаки.

Один прохід відповідає довжині різання  $L$ , яка визначається за формулою

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot L_g}{1000 \cdot S}, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної поверхні, мм;  $L_g$  – довжина оброблюваної поверхні, мм;  $S$  – подача, мм/об.

Параметри формули  $\alpha$ ,  $n$ ,  $L_{zp}$  визначалися шляхом пошуку мінімуму такого функціонала:

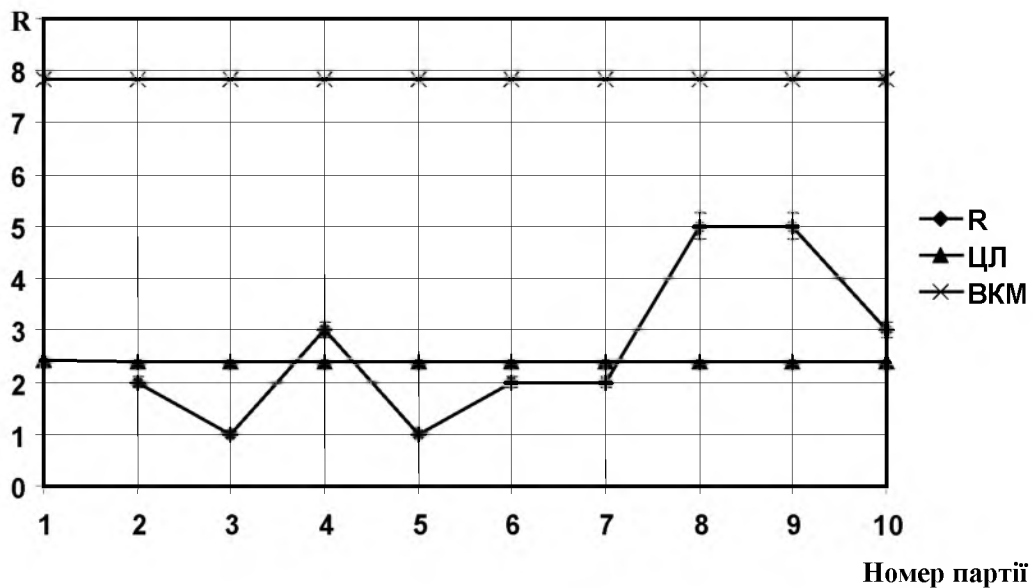
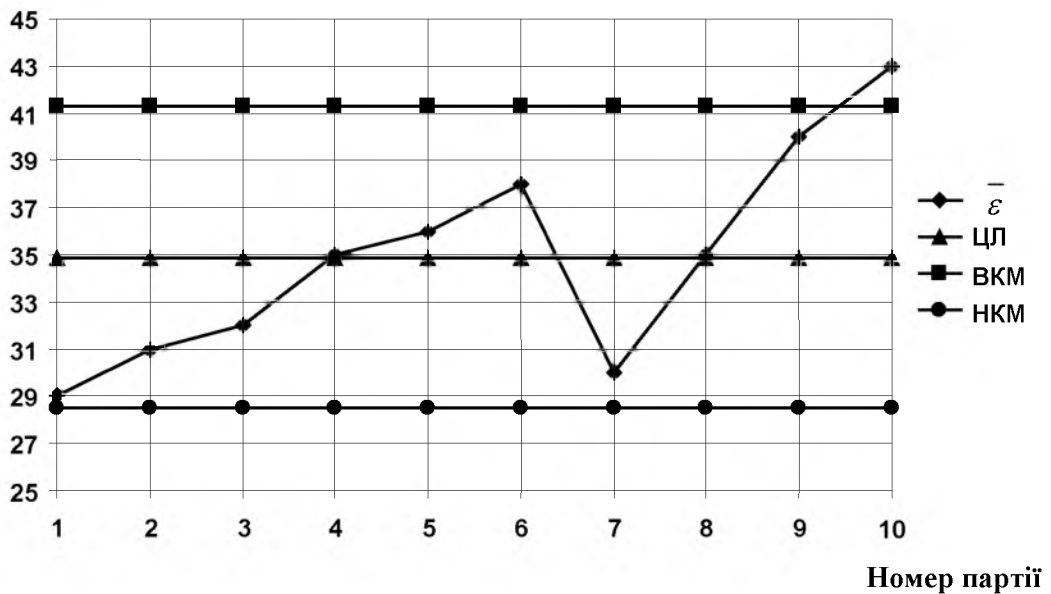


Рисунок 1 – Контрольні карти індивідуальних значень за даними таблиці 1

$$U_0 = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{A_i}{A_0} - \left( 1 + \alpha \cdot \left( \frac{L_i - L_0}{L_{zp} - L_i} \right)^n \right) \right\}^2, \quad (5)$$

де  $A_i$  – поточне значення величини діагностичної ознаки;  $L_i$  – відповідна довжина різання.

Момент підналагодження технологічної системи  $L_{midn}$  визначався у результаті розв'язання рівняння (6) відносно шляху різання при рівності лівої частини рівняння гранично допустимому значенню  $A_{zp}$

$$L_{midn} = \frac{\gamma \cdot L_{np} + L_0}{1 + \gamma}, \quad (6)$$

де

$$\gamma = \left( \frac{A_{zp} - A_0}{\alpha \cdot A_0} \right)^{1/n}.$$

За гранично допустиме значення діагностичної ознаки  $A_{zp}$  брали величину зносу різця і похибку діаметрального розміру деталі, які фіксуються після останнього проходу  $L_K$ . Похибка прогнозування оцінювалася за величиною  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{L_{midn} - L_K}{L_K} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $L_K$  – фактичне значення довжини різання, що проходить інструмент на останньому проході;  $L_{midn}$  – прогнозне значення довжини різання до підналагодження.

Дослідження проводилися для двох режимів різання:

1-й режим:  $v=150$  м/хв,  $S=0,08$  мм/об,  $t=0,5$  мм;

2-й режим:  $v=150$  м/хв,  $S=0,15$  мм/об,  $t=0,5$  мм.

При цьому момент контролю характеризувався величиною  $\bar{L}$  (%), що дорівнює відношенню поточної кількості проходів  $L_i$  до гранично реалізованої в експерименті кількості проходів  $L_K$ :

$$\bar{L} = \frac{L_i}{L_K} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Як приклад на рисунку 2 приведено співвідношення між експериментальними значеннями діагностичних ознак (похибка розміру  $\varepsilon$ ) і апроксимуючою кривою, що розрахована для режиму 2. Таким чином, проведені дослідження показали, що прогнозування моменту



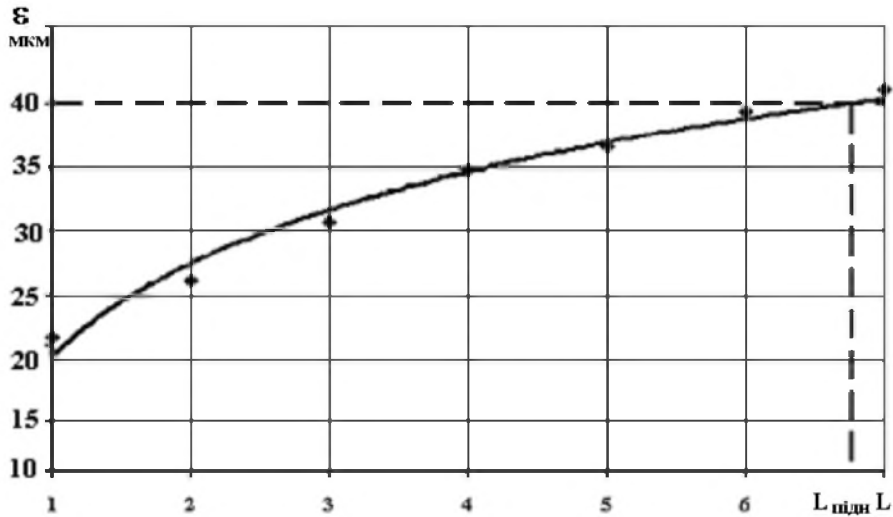


Рисунок 2 – Співвідношення між фактичними значеннями похибки розміру деталі та апроксимуючої кривої

підналагодження технологічної системи залежно від ступеня зношування різального інструменту можна із достатньою мірою точності здійснювати за результатами оцінки похибки розміру деталі у процесі обробки. Цей параметр є діагностичною ознакою, яка найбільш повно і комплексно характеризує загальний поточний стан оброблювальної системи і з прийнятною похибкою може своєчасно сигналізувати про момент, коли необхідне проведення підналагодження технологічної системи або потрібна заміна зношеного інструменту.

**Висновки по даному дослідженню, перспективи подальшого розвитку даного напрямку.** Застосування статистичних прийомів до управління процесом виготовлення продукції (зокрема, у машинобудуванні) є тільки першим кроком. Для забезпечення і підтримки процесів на прийнятному і стабільному рівні, що гарантує відповідність продукції і послуг встановленим вимогам необхідні додаткові засоби аналізу процесу, які включають діагностування і прогнозування фактичного технічного стану обладнання. Контрольні карти можуть бути додатково удосконалені за допомогою введення методик оцінки технічного стану і прогнозування напрацювання на відмову обладнання, що використовується у процесі виготовлення продукції. За даними контрольних карт перевірені очікувані наслідки прогнозування відмов і

визначені моменти для проведення підналагодження обладнання технологічних процесів навіть за малих змін їх параметрів. Необхідна кількість даних буде залежати від досліджуваного процесу. На основі класифікуючої функції запропоновано підхід статистичного керування процесами, що дозволяє знизити витрати ресурсів на попередження втрат і підвищити продуктивність зменшення впливу „невипадкових” причин на мінливість.

**Список використаних джерел:** 1. *Залога В.О.* Спадкові принципи формування якості складних машинобудівних виробів / *В.О. Залога, К.О. Дядюра, В.В. Нагорний* – Суми: Монографія. Вид-во СумДУ, 2012. – 349 с. 2. *Нагорный В.М.* Моделирование системы поддержки принятия решений при обеспечении конкурентоспособности машиностроительной продукции на этапах ее жизненного цикла / *В.А. Залога, В.М. Нагорный, К.А. Дядюра* // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук, праць. – Харків: НТУ „ХПГ”, 2011. – Вип. 6. – С. 282-296. 3. *Нагорный В.М., Дядюра К.О.* Повышение эффективности эксплуатации компрессорного оборудования на основе диагностики его текущего состояния и прогнозирования момента подналадки / *В.М. Нагорный, К.О. Дядюра* // Материалы международной научно-технической конференции: «Технические и технологические газы. Оборудование и технологии альтернативной энергетики» – 12-13 мая 2011. – Сумы, Концерн Укрросметалл. 4. *Залога В. А.* Повышение эффективности процесса резания полиграфических материалов на основе диагностики текущего состояния ножа по акустическому сигналу / *В.А. Залога, В.М. Нагорный, і ін.* // Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць НТУ «ХПГ». – Харків, 2008. – Вип. 2 (17). – С. 142-147. 5. *Нагорный В.М.* Введення в технічну діагностику машин: навчальний посібник / *В.М. Нагорний*. – Суми: Сумський державний університет, – 2011. – 483. 6. ДСТУ ISO/TR 10017:2005 Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001:2000. 7. ДСТУ ISO 8258-2001 Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта. 8. *Рябинин И.А.* Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / *И.А. Рябинин*. – СПб.: Издательство С. Петерб. ун-та, 2007. – 276 с. 9. *Триц Р.М.* Розвиток наукових основ управління якістю в машинобудуванні в умовах обмеженої кількості інформації : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.02 / *Р.М. Триц*. – К., 2007. – 35 с. 10. *Шумячер В.М.* Технологическое обеспечение управления качеством машиностроительной продукции / *В.М. Шумячер, О.В. Бурлаченко і ін.* // Технология машиностроения. – 2005. – №6. – С. 73-75. 11. *Савченко Е.Н., Нагорный В.М.* Повышение достоверности постановки диагноза технического состояния роторных машин при вибродиагностики / *Е.Н. Савченко, В.М. Нагорный* // Труды IX международной научно-технической конференции "Герметичность, виброненадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования" – "ГЕРВИКОН 99" – Сумы: Ризоцентр СумГУ, 1999. – т. 2. – С. 79-85. 12. ГОСТ 24643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. 13. *Нагорный В.М.* Прогнозирование момента подналадки технологической системы механической обработки при возможных отклонениях от допустимых значений размеров обрабатываемых деталей / *В.М. Нагорный, К. А. Дядюра* // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Киев, 2003. – №2. – С. 16-20.