

УДК 621.923-185.4

О. І. Кукицяк, Р. Г. Редько

Луцький національний технічний університет

ВИСОКОШВИДКІСНЕ ШЛІФУВАННЯ – ВИСОКОПРОДУКТИВНИЙ МЕТОД ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

У статті розглянуто високопродуктивний метод обробки деталей – високошвидкісне шліфування за методом Гюрига (ВШГ). Приведено залежності між керуючими параметрами обробки і параметрами процесу різання. Також описується вплив швидкостей, подач, питомої продуктивності та наявності ЗОР, при обробці, на температуру та процес різання. Описано область застосування та параметри методу ВШГ, особливості температури в зоні шліфування, а також умови використання ЗОР.

Ключові слова: високошвидкісне шліфування, швидкість різання, питома продуктивність при шліфуванні, метод маятникового шліфування, метод Гюринга, метод глибинного шліфування, шліфувальні кола, ЗОР.

Рис. 6. Літ. .

А. И. Кукицяк, Р. Г. Редько

ВИСОКОСКОРОСТНОЕ ШЛИФОВАНИЕ - ВИСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

В статье рассмотрен высокопроизводительный метод обработки деталей - высокоскоростное шлифование методом Гюрига (ВШГ). Приведены зависимости между управляющими параметрами обработки и параметрами процесса резания. Также описывается влияние скорости подачи, удельной производительности и наличия СОЖ при обработке, на температуру и процесс резки. Описаны область применения и параметры метода ВШГ, особенности температуры в зоне шлифования, а также условия использования СОЖ.

Ключевые слова: высокоскоростное шлифование, скорость резки, удельная производительность при шлифовании, метод маятникового шлифования, метод Гюринга, метод глубинного шлифования, шлифовальные круги, СОЖ.

O. Kukytskyak, R. Redko

HIGH-SPEED GRINDING - HIGHLY PRODUCTIVE METHOD OF METAL CUTTING

The paper considers a high-performance method of machining parts - high-speed grinding method of Hyuryh (HSGH). Powered dependence between the control parameters and processing parameters of the cutting process. Also describes the effect of speed, feed, specific performance and availability of the AB, the processing, and the temperature of the cutting process. Describe the scope and parameters of the method HSGH, especially in the grinding zone temperature and conditions of use AB.

Keywords: high-speed grinding, cutting speed, specific performance in grinding, polishing pendulum method, Hyuryh method, method of deep sanding, grinding range, the temperature in the grinding zone, AB.

Постановка проблеми. Високошвидкісне шліфування за методом Гюринга (ВШГ) засновано на використанні максимально можливих колових швидкостей шліфувального круга і подач. ВШГ відрізняється від методів лезової обробки металів (наприклад точіння, фрезерування, зовнішнього протягування) значно більш високою (приблизно в 10-20 разів) продуктивністю. Раціональне використання верстатів з такою високою продуктивністю можливе лише в умовах масового або крупносерійного виробництва або при випуску виробів середніми і малими серіями груповим методом.

В більшості випадків ВШГ реалізується на спеціальних верстатах, для кожного з яких визначається конкретно його конструкція і розміри, а також підбирають завантажувально-розвантажувальні пристрої або маніпулятори, пристосіблення для базування і кріплення деталі, систему правки шліфувального круга.

Основною перевагою ВШГ є можливість виготовлення виробів із заготовки на одному верстаті за один прохід. Завдяки цій перевазі можна раціоналізувати технологію і економічно вигідно реорганізувати виробництво.

ВШГ характеризується наступними умовами: швидкість різання $v_c=60...250$ м/с; швидкість подачі $v_f=1000...10000$ м/хв; зняття основного шару матеріалу здійснюється за один прохід при глибині різання до 30 мм; продуктивність різання до 2 кг/хв. В загальному випадку швидкість подачі і зняття шару матеріалу в 100–500 разів вище, ніж при традиційному шліфуванні.

На рис.1. показана принципова схема ВШГ. Матеріал по всіх ширині обробки b_0 знімається за один прохід на всю глибину a_e . При цьому не має значення чи напрям подачі є прямолінійним, як при плоскому шліфуванні (див. рис.1.а), чи коловим, як при коловому шліфуванні (див. рис.1.б).

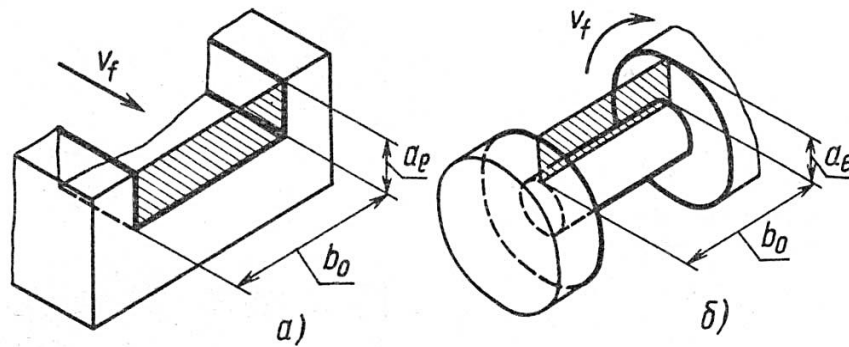


Рис.1. Схема плоского (а) і колового (б) ВШГ

Важливо лише те, що при високих швидкостях різання обов'язково використовуються великі швидкості подачі. Питома продуктивність різання [в $\text{мм}^3/(\text{мм}\cdot\text{хв})$] $Q_{ш} = a_e b_0 v_f / b_0$, де v_f - в мм/хв ; a_e і b_0 - в мм .

ВШГ не розраховане на обробку торцевих або циліндричних поверхонь великих розмірів. В більшості випадків ВШГ застосовують для вишліфовування вцілому канавок і пазів (плоску і глибинне шліфування); вирізного шліфування (зовнішнє колове шліфування і шліфування із врізанням під кутом); шліфування різних гвинтових поверхонь (спіралей, черв'яків, ходових гвинтів); шліфування з підрізанням і поздовжнього шліфування за один прохід на всю глибину (зовнішнє колове поздовжнє шліфування). Можна обробляти заготовки з різноманітних матеріалів як в незагартованому, так і в загартованому стані.

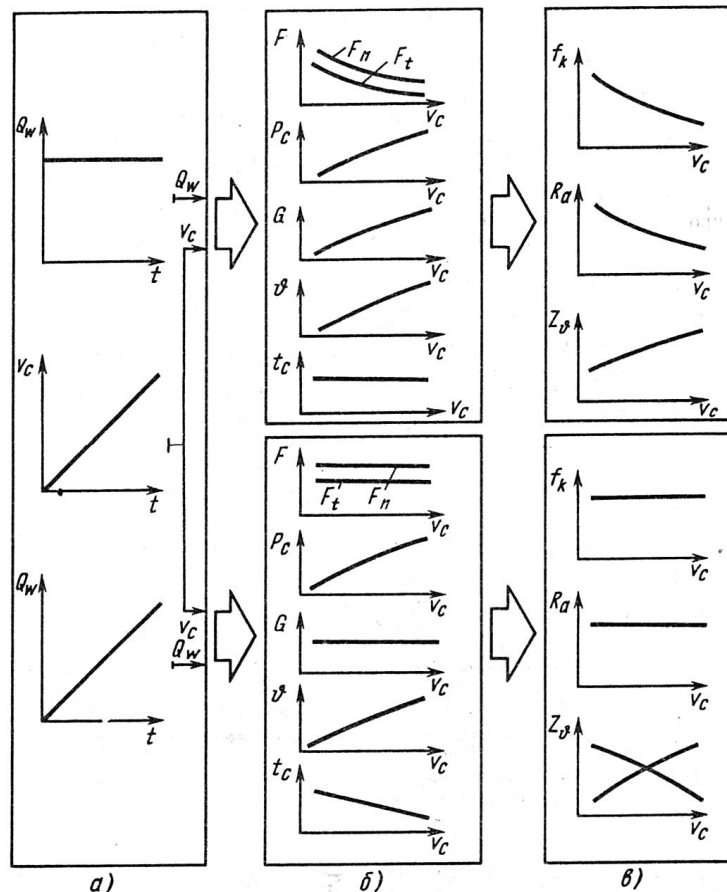


Рис. 2. Залежності між керуючими параметрами (а), параметрами процесу шліфування (б) і результатами (в)

На рис.2 наведені залежності між перемінними керуючими параметрами в процес ВШГ (до яких відносяться v_c різання і питома продуктивність $Q_{ш}$) і параметрами процесу різання (нормалі F_n і тангенціальній F_t складовими сили різання, потужністю P_c різання, коефіцієнтом G ріжучої

здатності, температурою ϑ в зоні різання і часом t_c різання). Як видно підвищення швидкості різання при постійній питомій продуктивності (див. рис.2, а, верхня частина) має такі наслідки: 1) при постійному часі різання - зменшення зусиль різання, коефіцієнта G (відношення між зносом шліфувального круга і кількістю знятого матеріалу) і зростання температури ϑ (див. рис. 2, б, верхня частина); 2) зменшення похибок форми і розмірів, а також зниження шорсткості R_a оброблюваних поверхонь; однак при цьому зростає небезпека трансформаційних змін властивостей матеріалу деталей під дією тепла в крайніх шарах, що виражається збільшенням коефіцієнта (див. рис. 2, в, верхня частина).

Одночасне збільшення швидкості різання і питомої продуктивності (див. рис. 2, а, нижня частина) веде за собою: 1) значне зменшення часу різання при порівняно постійних зусиллях різання і коефіцієнтів, а також зростання температури ϑ (див. рис. 2, б, нижня частина); 2) стабілізацію якості виробів (похибки розмірів і форми, а також шорсткість обробленої поверхні приблизно постійні і не залежать від швидкості різання); значення коефіцієнта Z спочатку зростає разом із ростом подачі оброблюваної деталі, а потім зменшується (див. рис. 2, в, нижня частина).

Аналіз останніх досліджень. Загальновідомий метод маятникового шліфування характеризується малою подачею круга на глибину і великою швидкістю подачі заготовки при порівняно низькій швидкості різання (30-45 м/с). Зростання продуктивності при цьому обмежується через появу дефектів на оброблюваних поверхнях і зміни властивостей граничних шарів матеріалу виробу.

Метод глибинного шліфування характеризується порівняно низькими швидкостями різання (30-45 м/с) і подачі заготовки, але великою подачею на глибину. Зростання продуктивності при цьому обмежене через зміни властивостей граничних шарів заготовки в результаті теплового впливу, а також через великі механічні навантаження на шліфувальні круги та заготовки.

Якщо збільшити швидкість різання вище 60 м/с і одночасно швидкість подачі заготовки до значення, що перевищують 1000 м/хв, то можна перейти в область ВШГ. Вона лежить за межами критичної області появи термічних дефектів у матеріалі виробу, що виникають при підвищенні швидкості подачі заготовки (див. рис. 3). Верхня межа застосування ВШГ визначається максимальною швидкістю шліфувального круга, допустимої за умовами його міцності, а також потужністю приводу шліфувальних верстатів.

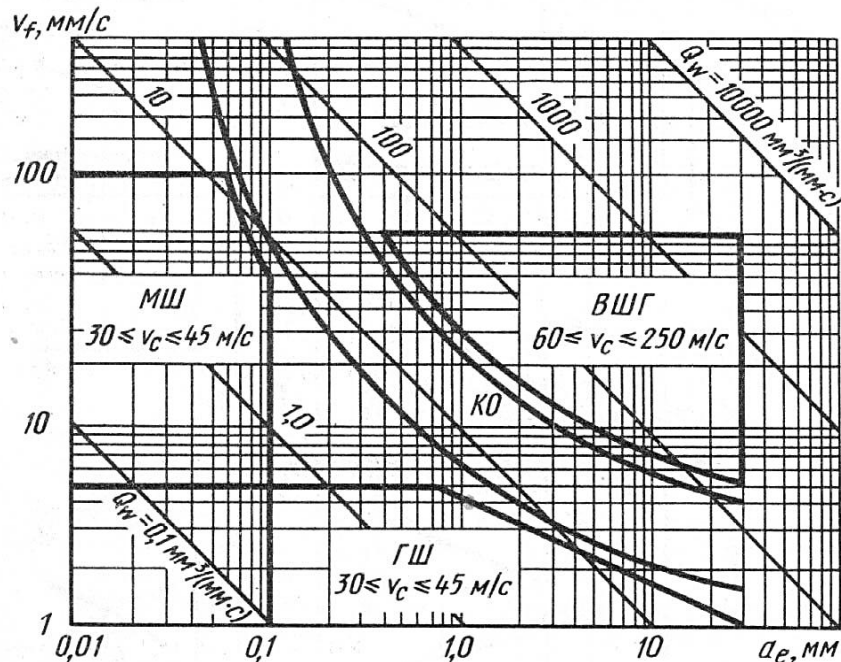


Рис. 3. Области застосування різних методів шліфування (за даними проф. Г. Вернера): МШ - маятниковий шліфування; ГШ - глибинне шліфування; ВШГ - високошвидкісне шліфування за методом Гюринга; КО - критична область; a_e - подача на глибину; v_f - швидкість подачі заготовки; Q_w - питома продуктивність шліфування

Застосовувані при ВШГ шліфувальні круги можна поділити на дві групи.

1. Круги з оксиду алюмінію (корунду) або карбїду кремнію на традиційній зв'язці [керамічній, синтетичній (наприклад, на бакелїтіві)]. Робоча швидкість різання до 120 м/с.

2. Круги з кубічного нітриду бору (КНБ) або алмазу на надтвердїй зв'язці (синтетичної або металевої); до цієї ж групи належать круги на металічній зв'язці, утвореної гальванічним методом. Робоча швидкість різання складає до 250 м/с.

Про температуру в зоні шліфування. Як відомо, із збільшенням продуктивності різання і окружної швидкості круга зростає термічне навантаження на граничні шари матеріалу оброблюваних деталей. Ця обставина тривалий час перешкождала впровадженню ВШГ у виробництво. Правда, в деяких спеціальних випадках переваги ВШГ не користувалися повною мірою. Наприклад, в інструментальному виробництві вдалося локалізувати джерела теплоутворення в зоні контакту, а потім за допомогою цілеспрямованих заходів повністю виключити або значно зменшити їх вплив на оброблюваний інструмент.

У процесі шліфування теплота виділяється, з одного боку, в місцях відділення та зсуву матеріалу виробу, а з іншого боку – в місцях тертя стружки об поверхню абразивних зерен, а також поверхонь зношених зерен об поверхню заготовки.

Якщо швидкість переміщення заготовки перевищить швидкість поширення теплоти, то майже вся теплота, що виділяється в процесі шліфування, буде відводиться стружкою із зони різання. Це припущення підтверджується дослідженнями граничних шарів матеріалу виробів.

З підвищенням швидкості v_c різання зростає й кількість теплоти, що надходить в процесі шліфування в оброблювану деталь. Крім того, як видно з рис. 4, із збільшенням швидкості v_f подачі заготовки робота W процесу різання зменшується¹, причому настільки значно, що теплоти, яка сприймається заготовкою, недостатньо для появи структурних змін в граничних шарах. В будь-якому випадку при металографічних дослідженнях ніяких змін властивостей матеріалу граничних шарів деталей не виявлено.

При використанні ВШГ поряд з правильним вибором режиму різання особливе значення надається правильній подачі ЗОР. Це обумовлено наступним. Внаслідок високої колової швидкості навколо шліфувального круга утворюється повітряний прошарок, що перешкоджає змочуванню поверхні і потраплення ЗОР в зону шліфування. Видалення цього прошарку механічним шляхом або за допомогою струменя ЗОР, що надходить під високим (0,5-2 МПа) тиском, покращує відведення теплоти із зони шліфування і різко зменшує небезпеку структурних змін в граничних шарах виробу. Бажано, щоб система подачі ЗОР відповідала конкретній технологічній задачі.

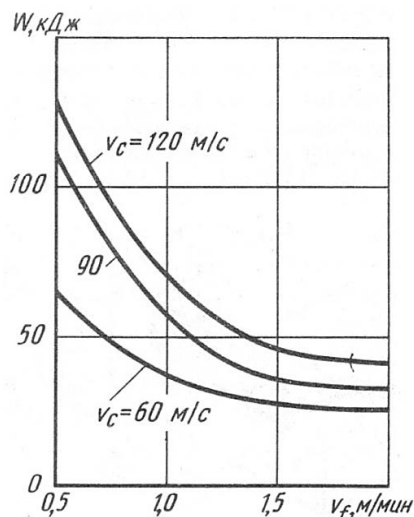


Рис. 4. Вплив швидкості v_f подачі і швидкості v_c різання на роботу W процесу різання

Важливу роль для ВШГ відіграє і витрата ЗОР; зазвичай вона повинна бути не меншою 10 л на 1 мм ширини круга, а на 1 см³ знятого матеріалу її витрачається 200-400 л/хв. У зв'язку з тим, що найбільша кількість теплоти відводиться стружкою, ЗОР досить швидко і сильно нагрівається. Тому доцільно постійно охолоджувати її.

Поряд з системою подачі і тиском ЗОР важливе значення має і тип застосовуваної рідини. Так, використання спеціального масляного ЗОР дозволяє, як правило, знизити температуру в зоні шліфування приблизно в 2 рази в порівнянні з температурою, що виникає при шліфуванні без охолодження (рис. 5) або з використанням емульсії.

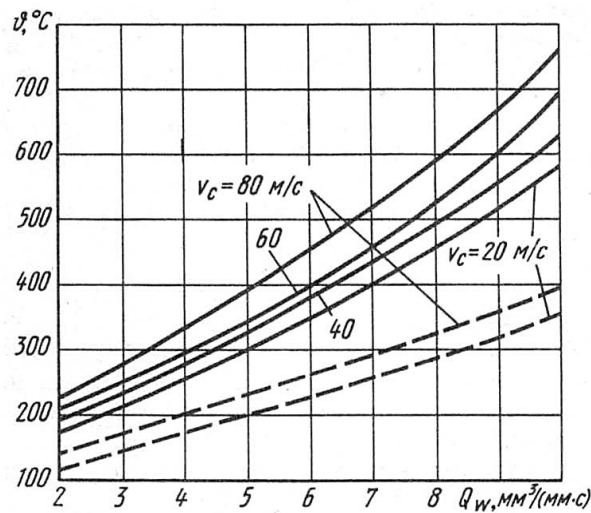


Рис. 5. Вплив швидкості v_c різання, питомої продуктивності $Q_{ш}$ і наявності ЗОР на температуру t в зоні шліфування: суцільні лінії – шліфування без охолодження, штрихові – з охолодженням

Приклади застосування ВШГ. У роторі пластинчастого насоса (рис. 6, а) перед загартовуванням шліфують за методом ВШГ глибокі пази з припуском. Після загартовування роторів здійснюють чистове шліфування пазів за тією ж технологією. При цьому можна використовувати шліфувальні круги діаметром 400 мм, максимальна ширина 25 мм.

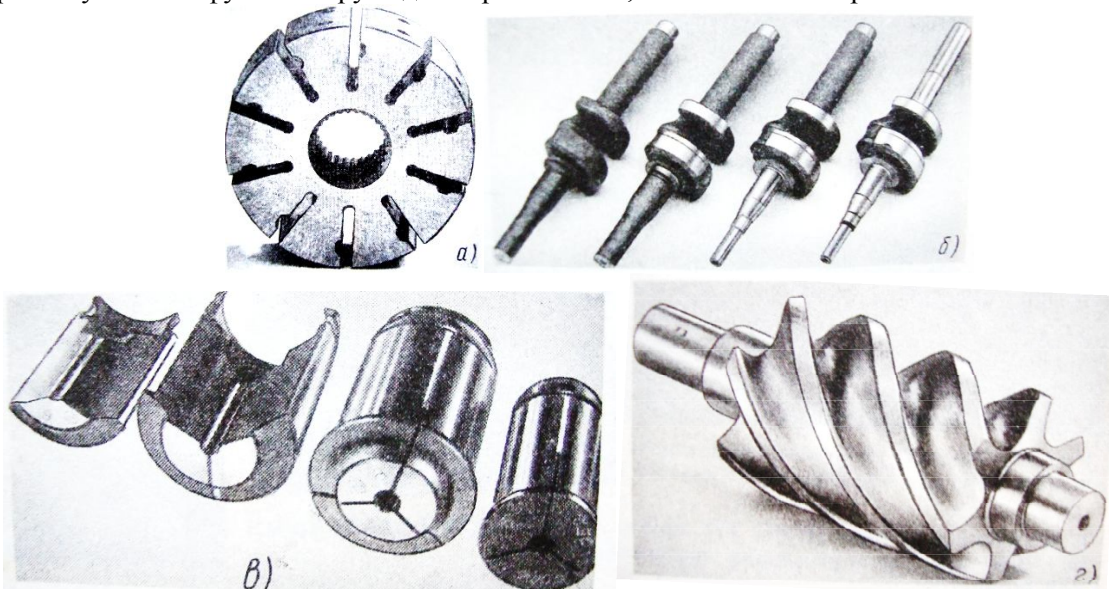


Рис. 6. Приклади деталей, які обробляються методом ВШГ: а – ротор пластинчастого насоса; б – колінчастий вал; в – затискні цанги; г – ротор гвинтовий

Основні результати досліджень. Основні показники технологічного процесу при обробці ротора з 10 пазами (матеріал - хромомарганцева сталь) кругом з КНБ наступні: $v_c = 143$ м/с; $a_c = 12$ мм; ширина паза 1,7 (1,9) мм (тут і далі в дужках дані для чистового шліфування, поза дужками - для попереднього); ($Q_{ш} = 171$ (114) $\text{мм}^3/(\text{мм}\cdot\text{с})$); $t_c = 1,4$ (2,1) с; тривалість циклу обробки двох деталей $t_p = 38$ (44) с.

У колінчастому валі (рис. 6, б), виготовленого з ковкого чавуну, шліфують вцілому заплічники, противаги по зовнішньому діаметру і опорні шийки корінних підшипників. Для шліфування використовують три верстата, кожен з яких оснащений двома шліфувальними шпинделями, працюючими одночасно. Використовуються круги з КНБ діаметром 500 мм; максимальна ширина 83 мм. Показники процесу обробки: $v_c = 104$ або 122 м/с; $v_f = 60$ мм/хв; $Q_{ш} = 30 \dots 75$ мм³/(мм·с); $t_c \approx 16$ с (на контур); $t_p = 21$ с. |

Згідно традиційної технології виготовлення затискних цанг (рис. 6, в) в незагартованих заготовках прорізають фрезою паз, залишаючи перетинку. Після загартування шліфують зовнішній і внутрішній діаметри цанги, а потім перетинки. За допомогою ВШГ пази шириною 1 мм прорізають по цілому в дзеркальній цанзі (HRC 47) кругами із КНБ діаметром 60-1000 мм; максимальна ширина кола 3 мм.

Основні показники процесу : $v_c = 157$ м/с; $v_f = 1000$ мм/хв; $a_e = 13$ мм; $Q_{ш} = 155$ мм³/(мм · с); $t_c \approx 3.6$ с; $t_p = 18$ с.

Гвинтові канавки ротора гвинтового насоса (рис. 6, г) шліфують на суцільний незагартованої заготовці діаметром 18-200 мм і довжиною 1250 мм. Попереднє шліфування складається з чотирьох етапів, чистове - з двох. Використовуються круги з електрокорунду на бакелітовій зв'язці діаметром 400 мм; максимальна ширина 80 мм. Профільювання круга здійснюється по двох незалежних осях допомогою пристрою для правки, оснащеного ЧПК.

Основні показники процесу обробки: $v_c = 73$ м/с; $a_e = 7,5; 4,5; 3,0; 2,5$ (0,6; 0,2) мм; $v_f = 1500$ (1200)мм/хв; $Q_{ш} = 187,5$ мм³/(мм·с); $t_c \approx 32$ с; $t_p \approx 570$ с .

Описані тут, а також інші верстати створені на базі уніфікованої модульної системи, за допомогою якої стало можливим серійне виготовлення шліфувальних верстатів, що працюють за методом ВШГ. Такі верстати доцільно використовувати в масовому і багатосерійному виробництві при обробці деталей з великим припуском.

Висновок. Метод ВШГ дозволяє значно підвищити продуктивність шліфування завдяки високим режимам та можливості об'єднання попередньої і чистової обробки, причому якість продукції не поступається якості продукції, виготовленої традиційними методами шліфування.

Впровадження високошвидкісної технології знаходиться поки на початковому етапі, проте в майбутньому багато з традиційних технологічних операцій (точіння, фрезерування, зовнішнє протягування) можуть бути успішно замінені на ВШГ.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2014.