

УДК 621.9.02

М.А. Ткаченко, канд. техн. наук*Донбаська державна машинобудівна академія**вул. Шкадінова 72, м. Краматорськ, Україна, 84313**E-mail: n.a.tkachenko@gmail.com***ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНСТРУМЕНТІВ НА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ**

Проведено двопараметричну багатокритеріальну оптимізацію параметрів експлуатації інструменту на важких верстатах. Запропоновано систему цільових функцій та обмежень для оптимізації режимів різання з урахуванням рівня якості процесу експлуатації інструменту. Визначено оптимальні режими різання й поправочні коефіцієнти на подачу та швидкість різання в залежності від рівня якості процесу експлуатації.

Ключові слова: оптимізація, параметри експлуатації, різальний інструмент, важкі токарні верстати.

В сучасних умовах машинобудівного виробництва особливе значення набувають задачі підвищення продуктивності металообробки, зниження її собівартості, впровадження технологій ресурсозберігання, підвищення надійності технологічної системи, точності та конкурентоздатності продукції. Розв'язання цих задач неможливе без розроблення науково-обґрунтованих регламентів експлуатації різальних інструментів, які суттєво впливають на техніко-економічні показники машинобудування. Особливо важливого значення набувають рішення зазначених задач при використанні різальних інструментів на дорогих важких верстатах. Саме це визначає необхідність скорочення часу їх простоїв і організації раціональної експлуатації інструменту. Велике розсіювання параметрів обробки на важких верстатах (коливання властивостей заготовок, припусків, станів верстату та інструменту, а також інше різноманіття чинників, що впливають на процес експлуатації) потребує комплексного підходу до визначення керуючих параметрів процесу його експлуатації.

Ефективність процесу механічної обробки в значній мірі залежить від рівня якості процесу експлуатації різального інструменту, на який впливає багато випадкових збурюючих факторів. Оскільки значна частина простоїв обладнання пов'язана з різальним інструментом, а особливо на важких верстатах, простой яких обходяться надто дорого, то для підвищення ефективності процесу механічної обробки разом із підвищенням якості різального інструменту необхідно підвищувати і рівень якості процесу його експлуатації.

Під експлуатацією інструменту зазвичай вважають використання різального інструменту як складової частини технологічної системи для здійснення процесу механічної обробки.

Практика засвідчує, що часто причиною низької ефективності різального інструменту є нерациональне його застосування. Підвищені витрати інструменту та інструментальних матеріалів нерідко пов'язані з відсутністю науково обґрунтованих регламентів його роботи та норм витрат. Через це сучасна система експлуатації інструменту повинна включати: нормативи режимів різання, рекомендації з вибору інструменту, критерії та порядок його заміни, норми стійкості та ін. В рекомендаціях необхідно найбільш повно врахувати всі фактори, які мають місце на виробництві: зносостійкість інструменту, його міцність, надійність, вібростійкість технологічної системи, ергономічні фактори та ін. [1].

Дослідження якості процесу експлуатації на підприємствах важкого машинобудування проводились у виробничих умовах ЗАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», ВАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування», Красноліманських локомотивному та вагонному депо, а також депо Дебальцеве-Сортувальне при обробленні валків прокатування, валів роторів, корабельних гребних валів, залізничних колісних пар тощо. Основна частина досліджень проводилась у механічних цехах № 3, 5 ЗАТ «НКМЗ» на верстатах виробництва ВАТ «КЗВВ» (таблиця 1).

На важких верстатах виконуються різноманітні операції, з яких приблизно 94% складають переходи, які виконують різцями. Не зважаючи на те, що багато з розроблених інструментів супроводжуються описами областей їх раціонального застосування, різноманітність конструктивних рішень ускладнює правильність вибору типу конструкції, що призводить до зниження ефективності їх експлуатації.

Дослідження експлуатації різців з твердого сплаву на важких верстатах довели, що разом із зношуванням іноді має місце і руйнування різальної пластини у вигляді викришувань і руйнувань.

Особливе значення при визначенні регламентів експлуатації мають дослідження періоду стійкості інструменту та його зв'язків з елементами режимів різання за різних умов експлуатації.

Аналіз номенклатури продукції, яка випускається валковим виробництвом ЗАТ «НКМЗ» показав, що найчастіше оброблюються сталі з високим вмістом хрому та інших легуючих елементів. Розподіл оброблюваних матеріалів валкового виробництва ЗАТ «НКМЗ» наведено на рисунку 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики деяких верстатів для оброблення деталей важкого машинобудування

| Технічна характеристика | Модель верстату | | | |
|---|------------------------|---------|-----------|-----------|
| | 1К670Ф3 | 1К675Ф3 | КЖ16274Ф3 | КЖ16275Ф3 |
| | Значення | | | |
| Габарити верстату, мм | | | | |
| довжина | 21 100 | 23 100 | 14 872 | 19 157 |
| ширина | 2 860 | 3 160 | 4 880 | 6 020 |
| висота | 6 020 | 6 020 | 2 550 | 3 020 |
| Найбільший розмір оброблюваної поверхні, мм | | | | |
| над супортом | 1 400 | 1 850 | 1 300 | 2000 |
| над станиною | 2 000 | 2 550 | 6 000 | 8 000 |
| Найбільша довжина в центрах, мм | 10 000 | 12 500 | 8 000 | 18 000 |
| Найбільша вага заготовки, кг | 63 000 | 100 000 | 25 000 | 60 000 |
| Швидкість обертання шпинделя, хв–1 | 1 – 160 | 1 – 160 | 2 – 450 | 1 – 160 |
| Система ЧПК | Siemens Sinumerik 840D | | | |

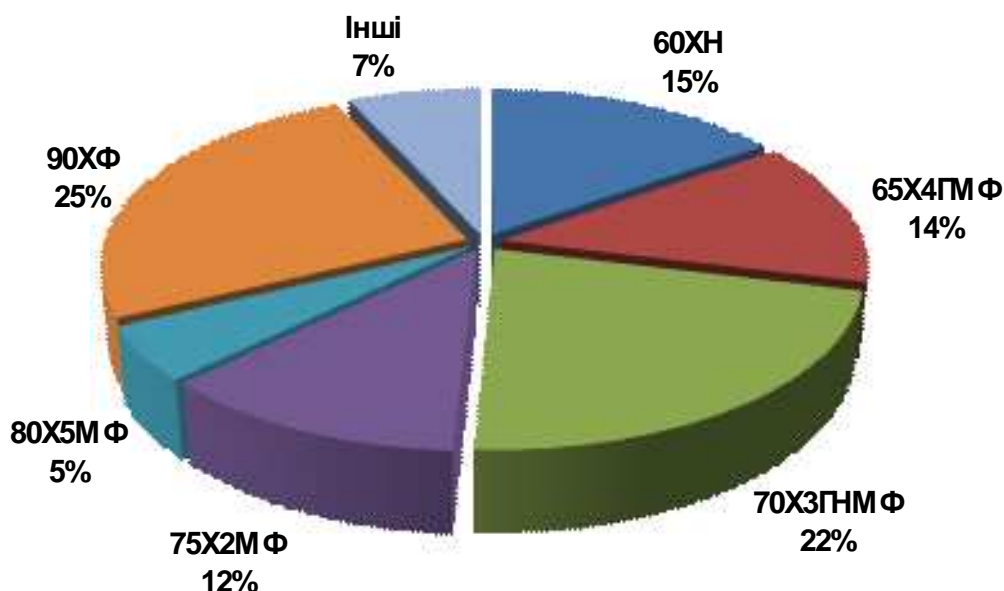


Рисунок 1 – Оброблені матеріали валків прокатування номенклатури ЗАТ «НКМЗ»

Останнім часом зі зменшенням виробництва валків, спостерігається збільшення частки великогабаритних валів роторів виготовлених зі сталей 34CrNiMo6 (аналог – 35X2H2MA), 42CrMo4V (42ХГМ) та корабельних гребних валів зі сталі AiSi4145H (40ХГМ). Ескізи типових деталей наведено на рисунку 2.

Задача визначення раціональних регламентів експлуатації: режимів різання, параметрів витрат інструменту, рівня надійності та ін. пов'язана з урахуванням багатьох технологічних, техніко-економічних факторів і є багатокритеріальною. Критеріями ефективності при визначенні регламентів експлуатації інструментів можуть бути всі вихідні параметри процесу експлуатації, кожен з них, або будь-яке їх сполучення.

Зі збільшенням числа обмежень підвищується працездатність розрахунків і зменшується їх точність, внаслідок того, що область раціональних режимів різання не завжди збігається з екстремальними точками цільової функції, а перебуває на лінії перетину найсуттєвішого обмеження з поверхнею, що відображає область існування цільової функції.

В якості основних критеріїв ефективності експлуатації інструменту на важких токарних верстатах з урахуванням попередніх досліджень [2, 3, 4] та більшої вартості важких токарних верстатів і більших виробничих площ, які вони займають, прийнято продуктивність, приведені витрати, розмірна стійкість та витрати інструменту.

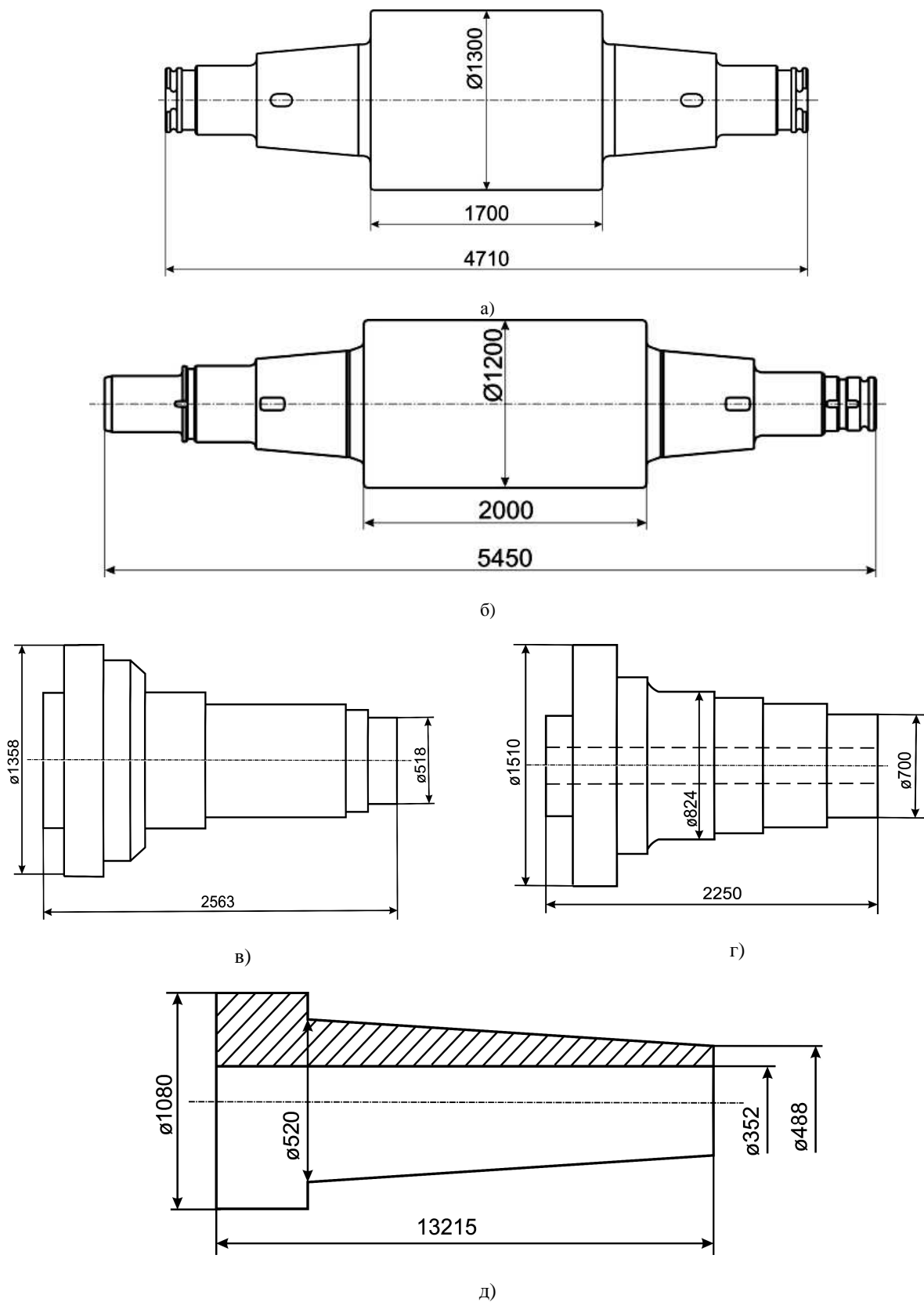


Рисунок 2 – Ескізи типових деталей важкого машинобудування:
прокатних валків, вали роторів, корабельні гребні вали великої довжини
номенклатури виробництва ЗАТ «НКМЗ»

Змінна частина питомих приведених витрат, яка залежить від режимів різання, визначається як сума витрат, пов'язаних з експлуатацією інструменту при його профілактичній заміні та аналогічних витрат при аварійній відмові інструментів, $\Pi \rightarrow \min$.

Цільова функція продуктивності, яка виражена через величину, зворотну штучному часу, $t_{ш} \rightarrow \min$.

Точність обробки враховано цільовою функцією розмірної стійкості, $T_{\Delta} \rightarrow \max$.

Цільову функцію витрат інструменту задано залежністю, $R \rightarrow \min$.

Залежність від умов та завдань виробництва оптимізація може виконуватись за різними цільовими функціями, а інші виступають обмеженнями. На рисунку 3 наведено систему математичних моделей і цільових функцій для оптимізації режимів різання і норм витрати інструменту.

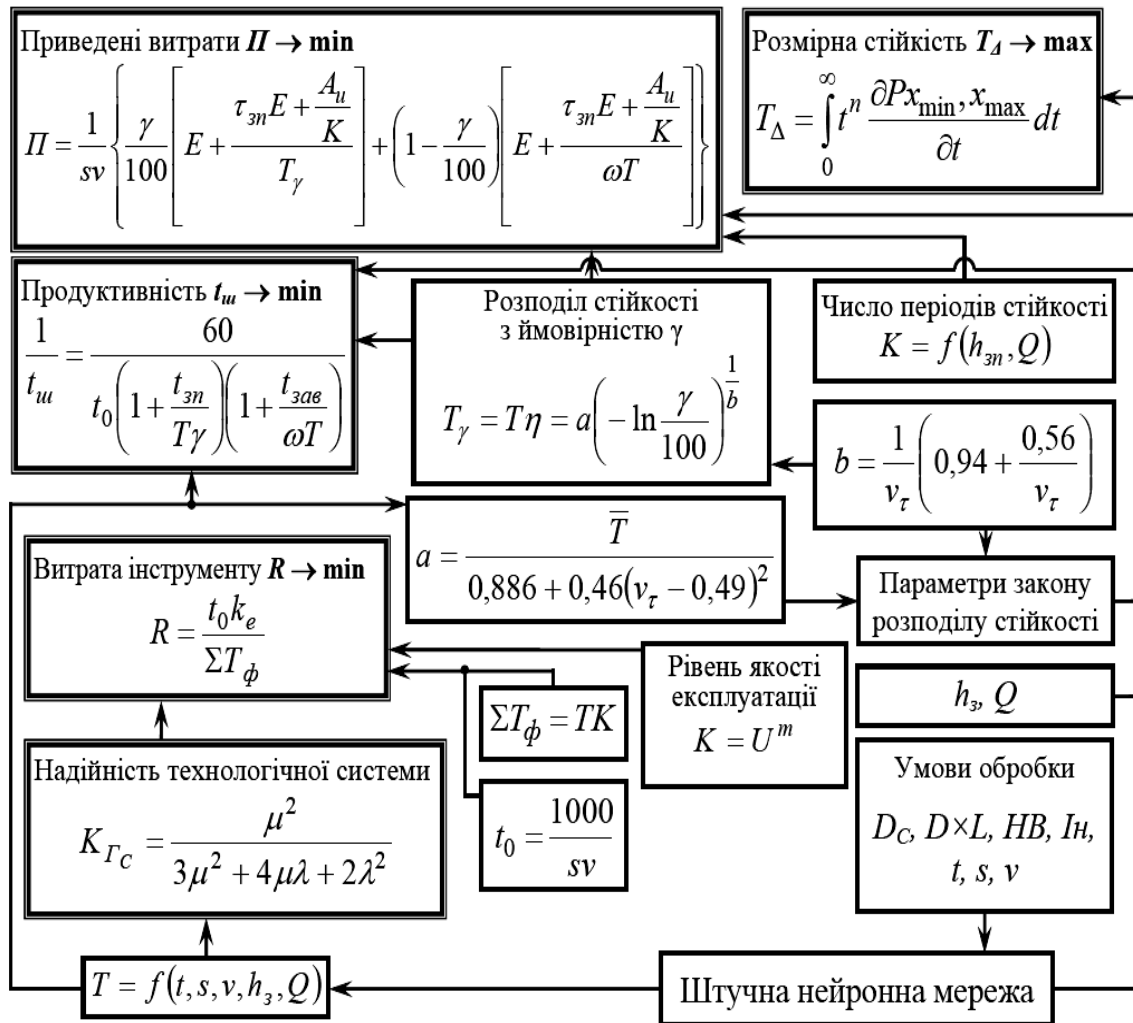


Рисунок 3 – Система математичних моделей і цільових функцій для оптимізації режимів різання і норм витрати інструменту

Особливістю системи, розробленої на основі досліджень даної роботи, є застосування штучної нейронної мережі для визначення періоду стійкості інструменту для змінних умов експлуатації конкретного виробництва, завдяки чому враховується стохастичний характер зміни значень цільових функцій. Введення коефіцієнту рівня якості експлуатації у функцію витрати інструменту дає можливість визначити оптимальні режими різання і норми видатку інструменту з урахуванням якості процесу.

Розроблені математичні моделі цільових функцій і обмежень були використані в багатокритеріальній оптимізації режимів різання й витрати різального інструменту з урахуванням рівня його експлуатації. Залежно від вимог конкретного підприємства і його виробничої ситуації система дозволяє сформувати набір критеріїв для оптимізації.

Задача оптимізації полягає у визначенні форми, механічних властивостей, режимів роботи конструкцій та інших критеріїв, поєднання яких забезпечує якість процесу. Для розв'язання задачі оптимізації необхідно вибрати принцип оптимальності, умови і метод його реалізації.

Оптимізація відбувалась методом динамічного програмування – особливим математичним методом, який дозволяє знайти оптимальне рішення за декілька кроків. Цільова функція в початковий момент часу характеризується деяким числом. В кожний наступний момент часу керуючі параметри змінюються, внаслідок чого змінює своє значення і цільова функція. При цьому зміна керуючих параметрів повинні задовольняти як вхідні обмеження, так і обмеження, які виникають під час пошуку оптимального значення. Зміни цільової функції на кожному кроці складаються в оптимальний розв'язок задачі. Таким чином, знаходяться серед усіх послідовностей допустимих змін керуючих параметрів ті, котрі б забезпечили оптимальні значення цільової функції на кожному окремому кроці розв'язку задачі.

Прийняття рішень про привалюючий критерій відбувається залежно від виробничої ситуації на підставі експертних оцінок. Так, для попередньої обробки деталей поряд з критеріями приведених витрат і продуктивності враховується критерій витрати інструменту, для остаточної обробки замість нього – критерій найменшої ймовірності виходу розміру деталі за поле допуску.

Завдання визначення раціональних режимів експлуатації інструменту вирішується з урахуванням всіх технологічних і техніко-економічних факторів.

Багатокритеріальна оптимізація здійснювалась зведенням критеріїв до вектору – критерію $\bar{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_N\}$, де N – число критеріїв. $\bar{K} = \sum_{i=1}^N K_i B_i$, де B_i – вагомість критерію, яка визначалась

експертно при прийнятті рішення залежно від ситуації у виробництві. В результаті оптимізація здійснювалась з урахуванням вагомостей кожного з критеріїв, визначених в залежності від конкретних потреб виробництва. Рівень якості експлуатації враховувався через його кількісний вплив на витрату інструменту.

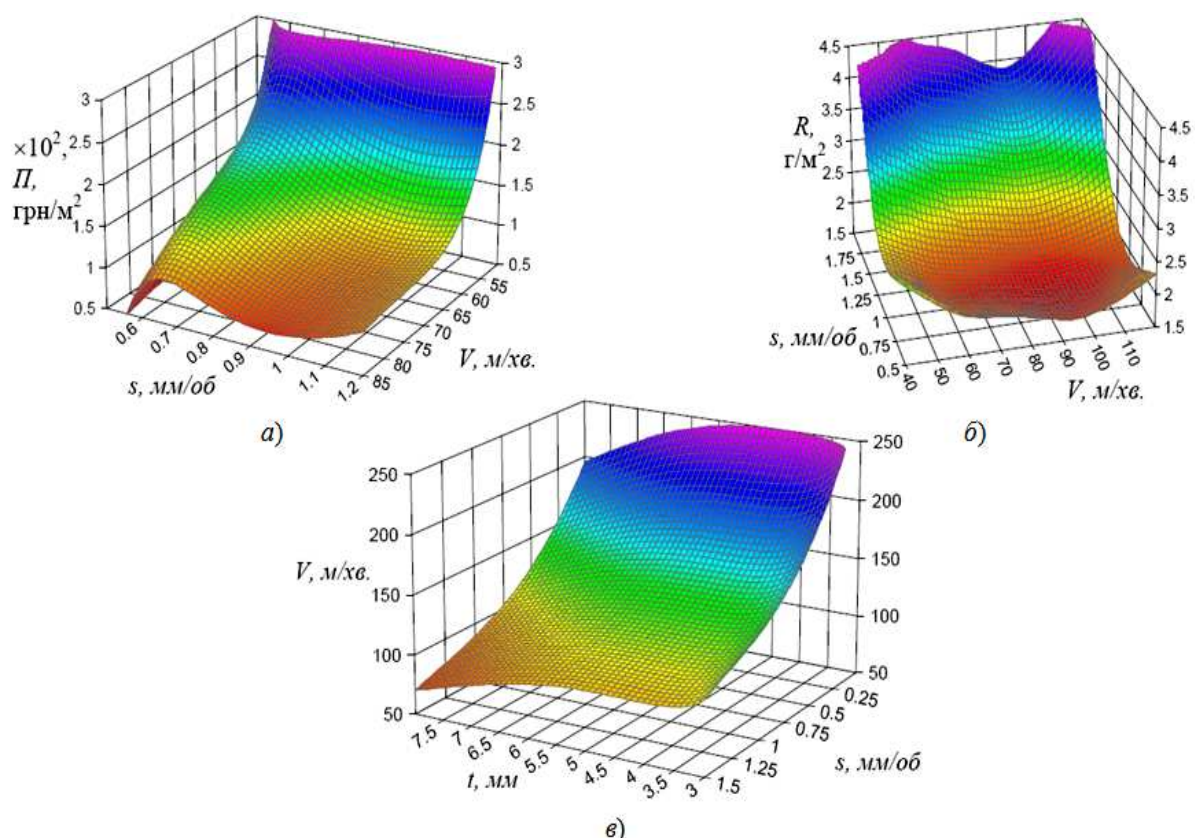


Рисунок 4 – Залежності приведених витрат (а), витрати інструменту (б) від режимів різання (в)

Для визначення точки компромісу найприйнятнішим показником, з погляду виробника, є продуктивність обробки. Разом з тим, очевидно те, що на практиці вибір параметрів інструменту й режимів різання залежить від конкретної виробничої ситуації й зміщується у бік зменшення приведених витрат. При виборі режимів обробки, параметрів інструменту особа, що приймає рішення, повинна враховувати особливості механічної обробки та конкретну виробничу ситуацію.

Зі змінних параметрів найсуттєвіше змінюється подача у бік зменшення й поступово зростає швидкість різання. Зменшення подачі й збільшення швидкості різання однаковою мірою впливає на основний і штучний час, зменшуючи витрати. Режими різання впливають подвійно на стан процесу механічної обробки. Зі збільшенням подачі зростає ймовірність руйнування різального інструменту, збільшується коефіцієнт варіації стійкості інструменту. Зростання швидкості знижує вартість, але позитивно впливає на коефіцієнт варіації стійкості.

Результати розрахунків оптимальних режимів різання при багатокритеріальній оптимізації на прикладі механічної обробки прокатного валу зі сталі 70ХЗГНМФ на важкому токарному верстаті КЖ16275Ф3 в умовах промислового виробництва, які забезпечують максимальну продуктивність з рівнем якості $U = 1$ наведено на рисунку 4.

Аналізуючи результати оптимізаційних розрахунків, можна відзначити, що із зміною рівня якості процесу експлуатації інструменту від 1 до 0,5 значення критеріїв показників оптимальності та змінних параметрах із різними мінімумами критеріїв суттєво відрізняються. Так, наприклад, штучний час тшт змінюється у 3 рази, витрати твердого сплаву – у 2,5 рази, стійкість – у 2 рази, подача і швидкість різання можуть змінюватися у 1,5 – 2 рази. За низького рівня якості експлуатації необхідно аналізувати найпроблемніші фактори, які впливають на рівень експлуатації інструменту.

Набір цільових функцій для оптимізації регламентів експлуатації залежить від конкретної мети та умов експлуатації. Для попередньої обробки поряд з приведеними витратами і продуктивністю слід враховувати витрати інструменту, для остаточної – розмірну стійкість, яка є характеристикою точності обробки.

В результаті проведених досліджень на основі розробленої математичних моделей і цільових функцій та аналізу умов експлуатації різальних інструментів на важких токарних верстатах розраховано раціональні режими різання при обточуванні з урахуванням рівня надійності та прогнозуванням стійкості різця, розроблено поправочні коефіцієнти на подачу при експлуатації збірних різців.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Клименко Г.П. Разработка системы рациональной эксплуатации режущего инструмента / Г.П. Клименко // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков, 2000. — Вып. 57. — С. 110–114.
2. Клименко Г.П. Определение ограничений на режимы резания при оптимизации регламентов эксплуатации инструмента на тяжелых станках / Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко, Н.А. Ткаченко // Надійність різального інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. — Краматорськ, 2003. — Вип. 14. — С. 29–35.
3. Хаєт Г.Л. Исследование рациональной эксплуатации твердосплавного режущего инструмента / Г.Л. Хаєт, Г.П. Клименко // Надійність різального інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. — Краматорськ, 2001. — С. 3–8.
4. Ткаченко М.А. Визначення раціональних умов експлуатації з урахуванням надійності різців важких токарних верстатів / М.А. Ткаченко, О.Ю. Андронов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : зб. наук. праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. — Харків, 2010. — № 53. — С. 133–139.

Надійшла до редакції 18.04.2011 г.

Ткаченко Н.А. Оптимизация режимов и условий эксплуатации инструментов на тяжелых токарных станках

Проведена двухпараметрическая многокритериальная оптимизация параметров эксплуатации инструмента на тяжелых станках. Предложена система целевых функций и ограничений для оптимизации режимов резания с учетом уровня качества процесса эксплуатации инструмента. Определены оптимальные режимы резания и поправочные коэффициенты на подачу и скорость резания в зависимости от уровня качества процесса эксплуатации.

Ключевые слова: оптимизация, параметры эксплуатации, режущий инструмент, тяжелые токарные станки.

Tkachenko N.A. Optimization of the modes and operating conditions for tools on heavy lathes

The two-parameter multicriteria optimization of tool operating parameters on heavy machines is conducted. The system of objective functions and constraints for the optimization of cutting conditions which taking into account the quality level of a tool is proposed. The optimum cutting conditions and correction factors to the feed and the cutting speed depending on the quality level are developed.

Keywords: optimization, modes of operation, cutting tools, heavy lathes.