

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-29-35>

УДК 621.952.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНОВОК КОРОБОК ШВИДКОСТЕЙ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Кроль О.С., Алієв В.Е.

### RESEARCH OF SPEED BOX LAYOUTS OF METAL-CUTTING MACHINES BY PARAMETRIC MODELING METHOD

Krol O.S., Aliev V.E.

Розглянуто методики побудови та моделювання поперечних конфігурацій багатоопераційного токарно-гвинторізного верстата за допомогою методів параметричного моделювання. Пропонується розглядати задачу синтезу просторового компоновання приводу головного руху токарного верстата (редуктора) як двокритеріальну оптимізаційну задачу. Існують два основних критерії ефективності конструкційного завдання для поперечної компоновки: 1) максимізувати жорсткість вихідного валу редуктора та шпинделя верстата; 2) мінімізувати навантаження на передню опору шпинделя. Досліджено вплив критеріїв оптимізації на проектні рішення при розробці компоновальних рішень робочого простору машини. Розроблено алгоритми та програми параметричного представлення багатоступеневих редукторів у середовищі інтегрованої системи автоматизованого проектування АРМ «WinMachine». Показано ефективність застосування синтаксису параметризації в задачах геометричного аналізу та синтезу просторового положення валів і зубчастих коліс для редукторів металорізального обладнання. Показано ефективність використання інтерфейсу модуля АРМ Graph при виникненні ненормативних ситуацій, пов'язаних із порушенням мінімально допустимої відстані зовнішньої поверхні шестерень до бічної стінки корпусу та днища корпусу коробки передач. Розглянуто особливості застосування засобів параметризації, пов'язаних із використанням спеціалізованої бази даних проектування середовища автоматизованої системи проектування АРМ WinMachine. Дано оцінку різниці між заводським варіантом та отриманим варіантом за критерієм оптимальної жорсткості. Для цього було використано модуль розрахунку АРМ Shaft та розраховано максимальний прогин стріли переднього кінця шпинделя у двох вищезгаданих варіантах. Відзначено ефективність застосування розділу бази даних, який функціонує як із традиційними графічними примітивами, так і зі структурними елементами в параметричному поданні. Запропоновано розв'язання двокритеріальної задачі проектування редуктора токарного верстата за критеріями максимальної жорсткості та мінімального навантаження на передню опору вала.

**Ключові слова:** просторове компоновання, привід головного руху, токарний верстат, параметрична модель, критерії оптимізації.

**Вступ.** Для всієї різноманітності верстатів певної групи (типу) неможливо використовувати одну-дві конструкції коробок швидкостей (КШ). Найчастіше доводиться розробляти нову конструкцію, застосовуючи методи структурної оптимізації, або створювати новий варіант вже відомої конструкції-прототипу за допомогою методу параметричної оптимізації.

Ефективність проектування КС залежить від прийнятого поперечного компоновання (згортки), у тому числі від положення вихідного валу. У існуючих роботах з проектування згорток КШ [1-3] не вводяться методика та алгоритм побудови ефективного варіанту конструкції коробки за критеріями жорсткості та надійності.

При визначенні просторового положення зубчастих коліс, що передають крутний момент на шпиндель верстата, необхідно враховувати дві взаємовиключні ситуації:

1. Паралельність та односпрямованість сили різання  $R$  та результуючої сили  $Q$  у зубчастому зачепленні «Вихідний вал – шпиндель», які забезпечують максимальну жорсткість шпиндельного вузла (мінімальний прогин переднього кінця шпинделя). Такий варіант використовують у верстатах для чистових методів обробки.

2. Паралельність і спрямованість в протилежні сторони сил  $R$  і  $Q$  забезпечує найменше навантаження на передню опору (як найбільш навантажену в процесі роботи верстата).

Багато варіантів конструктивних виконань деталей КШ [4, 5] та їх взаємного розташування з одного боку, а також необхідність підвищення продуктивності праці проектувальника з іншого робить ефективним використання апарату параметричного моделювання [6-8]. Саме цей механізм, що дозволяє зменшити час розробки нової чи модифікації відомої конструкції, реалізований у всіх сучасних САПР [9-11].

**Метою роботи.** Розробка такої параметричної моделі поперечного компонування КШ, яка забезпечить в одному варіанті максимальну жорсткість проектованого верстата (його шпindelного вузла), а в іншому варіанті наведене мінімальне навантаження на передню опору шпindelю.

**Основний матеріал.** Механізм параметризації характеризується наявністю взаємозв'язків та обмежень між геометричними об'єктами, що становлять цю конструкцію (на відміну від непараметричного). У цьому частині зазначених взаємозв'язків і обмежень може формуватися автоматично під час введення графічної інформації, інші ж призначатися користувачем самостійно.

Досить ефективно механізм параметризації реалізований в сучасній CAD CAM CAE PDM системі автоматизованого проектування APM WinMachine, розробленої в НТЦ АПМ [12-15].

У цих роботах розроблено процедуру побудови параметричних моделей поперечних компоновок коробок передач металорізальних верстатів. Проектне завдання формується так: розробити таку параметричну модель поперечного компонування КС, яка забезпечить в одному варіанті максимальну жорсткість проектованого верстата (його шпindelного вузла), а в іншому варіанті наведене мінімальне навантаження на передню опору шпindelю.

Відомий алгоритм проектування компоувальних схем будується у наступній послідовності: 1) проводяться осі валів; 2) визначаються конструктивні елементи деталей, що розташовані на валах; 3) проставляються осьові розміри всіх конструктивних елементів; 4) викреслюється згортка коробки швидкостей, по якій будуть визначатися кути розташування зубчастих пар, напрямки окружних та радіальних зусиль тощо.

Для вдосконалення наведеного вище алгоритму пропонується параметрична модель структурного синтезу просторового компонування КШ [16, 17]. Як об'єкт проектування обраний верстат багатопільової малогабаритної моделі МС-03, який призначений для механічної обробки металів (струмлінням, нарізанням різьблення, фрезеруванням, свердлінням розточуванням та шліфуванням). У першому варіанті використовується критерій максимальної жорсткості (Рис. 1,а), який реалізується за умови паралельності та односпрямованості сил  $R$  і  $Q$  [18].

Механізм параметризації характеризується наявністю взаємозв'язків та обмежень між геометричними об'єктами, що становлять цю конструкцію (на відміну від непараметричного). У цьому частині зазначених взаємозв'язків і обмежень може формуватися автоматично під час введення графічної інформації, інші ж призначатися користувачем самостійно.

Досить ефективно механізм параметризації реалізований в сучасній CAD CAM CAE PDM системі автоматизованого проектування APM WinMachine, розробленої в НТЦ АПМ [19-22].

У цих роботах розроблено процедуру побудови параметричних моделей поперечних компоновок коробок передач металорізальних верстатів. Проектне завдання формується так: розробити таку параметричну модель поперечного компонування КС, яка забезпечить в одному варіанті максимальну жорсткість проектованого верстата (його шпindelного вузла), а в іншому варіанті наведене мінімальне навантаження на передню опору шпindelю.

Відомий алгоритм проектування компоувальних схем будується у наступній послідовності: 1) проводяться осі валів; 2) визначаються конструктивні елементи деталей, що розташовані на валах; 3) проставляються осьові розміри всіх конструктивних елементів; 4) викреслюється згортка коробки швидкостей, по якій будуть визначатися кути розташування зубчастих пар, напрямки окружних та радіальних зусиль тощо.

Для вдосконалення наведеного вище алгоритму пропонується параметрична модель структурного синтезу просторового компонування КШ. Як об'єкт проектування обраний верстат багатопільової малогабаритної моделі МС-03, який призначений для механічної обробки металів (нарізанням різьблення, фрезеруванням, свердлінням розточуванням та шліфуванням). У першому варіанті використовується критерій максимальної жорсткості (Рис. 1), який реалізується за умови паралельності та односпрямованості сил  $R$  і  $Q$ . У другому варіанті використовується критерій мінімального навантаження (Рис. 2), який реалізується за умови паралельності та спрямованості в протилежні сторони сил  $R$  і  $Q$ .

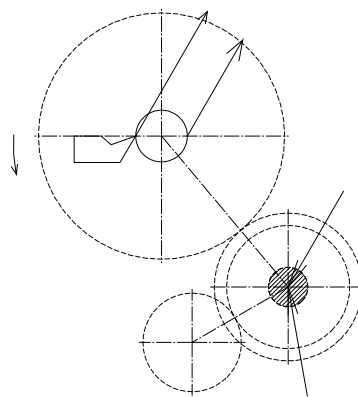


Рис. 1. Поперечне компонування коробки швидкостей за критерієм максимальної жорсткості

У другому варіанті використовується критерій мінімального наведеного навантаження на передню опору (Рис. 2), який реалізується за умови паралельності та спрямованості у протилежний бік сил  $R$  і  $Q$ .

Побудова просторового компонування здійснюється в модулі APM Graph [23-25]. Перевага креслярсько-графічного параметричного редактора APM Graph полягає в тому, що розроблений програмний інтерфейс користувача простий та інтуїтивно зрозумілий в експлуатації. Процес створення параметричної моделі максимально наближений до варіанту

звичайного креслення деталей [26]. Для того щоб отримати параметричну модель, необхідно просто поставити у відповідність до числових параметрів математичні формули та/або логічні вирази (якщо це потрібно). Значні переваги у процесі побудови параметричних моделей надає база даних, вбудована як модуль APM WinMachine. Прослідкувати правильність виконання параметричних команд, які використовуються побудованою моделлю, можна візуально.

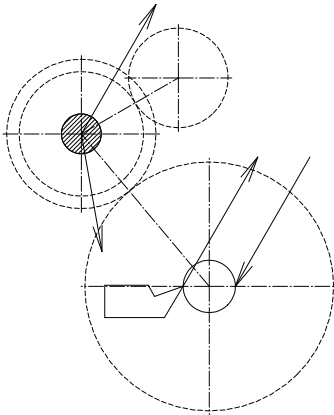


Рис. 2. Поперечне компонування коробки швидкостей за критерієм мінімального наведеного навантаження

Нижче наведено фрагмент алгоритму синтезу компонування за критерієм максимальної жорсткості (Рис. 3).

Переменная	Выражение	Значение	Комментарий
dн1		120	шестерня на входном валу
dн2		100	колесо на входном валу
dн3		200	колесо на шпинделе
dн4		80	шестерня на промежуточном валу
a0		60	угол силы резания
a1	$(90-a0)+20$	50	угол наклона ведущего вала( силы резания и в
a		140	угол между силами на ведущем валу
a2	$90-a0$	30	Угол наклона силы P1 к вертикали
a3	$180(a2+a)$	10	Угол наклона силы P2 к вертикали (вертикаль
a4	$a3+20$	30	Угол наклона промежуточного вала от горизон

Рис. 3. Фрагмент алгоритму синтезу компоновки

Залежно від прийнятої схеми різання, геометрії інструменту та режимів різання буде змінюватися положення кута нахилу результуючої сили різання, а отже, і положення вихідного валу КШ відповідно до запропонованої програми. На основі запропонованого алгоритму параметризації розроблено параметричну модель КШ верстата МС-03 (Рис. 4). До обмежень цієї моделі відносяться граничні відстані між зовнішньою поверхнею зубчастого колеса і бічною стінкою ( $x$ ), а також дном корпусу ( $k$ ) [27-29].

В останніх версіях APM WinMachine є новий тип змінної – «Змінна-повідомлення», яка робить "дружнішим" інтерфейс проектування. Нижче наведено приклад змінної повідомлення (Рис. 5), яка візуалізується у робочому вікні у разі порушення граничних значень  $x$  та  $k$ .

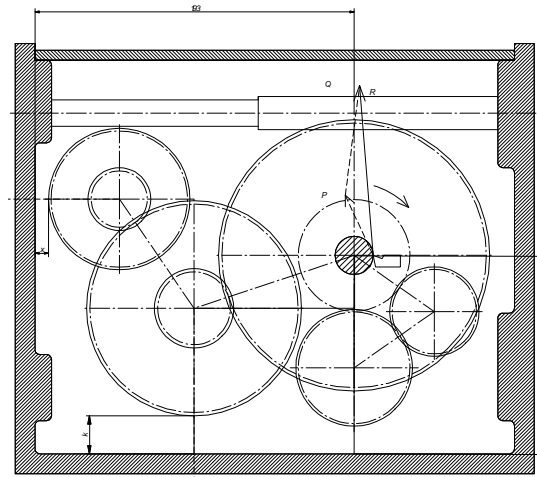


Рис. 4 Коробка швидкостей верстата моделі МС-03 (параметрична модель)

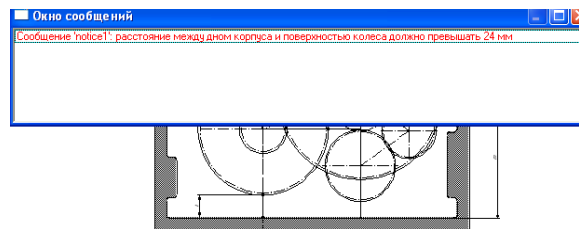


Рис. 5. Змінна-повідомлення: неприпустима відстань

Спроба при існуючих габаритах корпусу КШ реалізувати критерій максимальної жорсткості призвела до неприпустимого розташування вихідного валу щодо дна корпусу (Рис. 6).

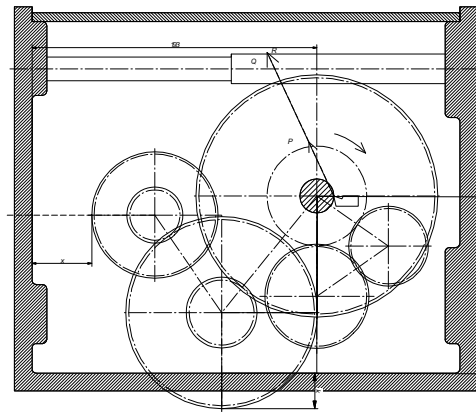


Рис. 6. Варіант компонування з максимальною жорсткістю

Для визначення відмінності заводського варіанта (Рис. 5) та оптимального жорсткості (Рис. 6) скористаємося модулем розрахунку валів APM Shaft. Розрахунок максимальної стріли прогину переднього кінця шпинделя у заводському варіанті (відхилення від сили різання  $32,4^\circ$ ) відрізняється від оптимального на 4%. В середовищі APM Graph сконструйована поперечна згортка КШ верстата моделі МС-03 (Рис. 7).

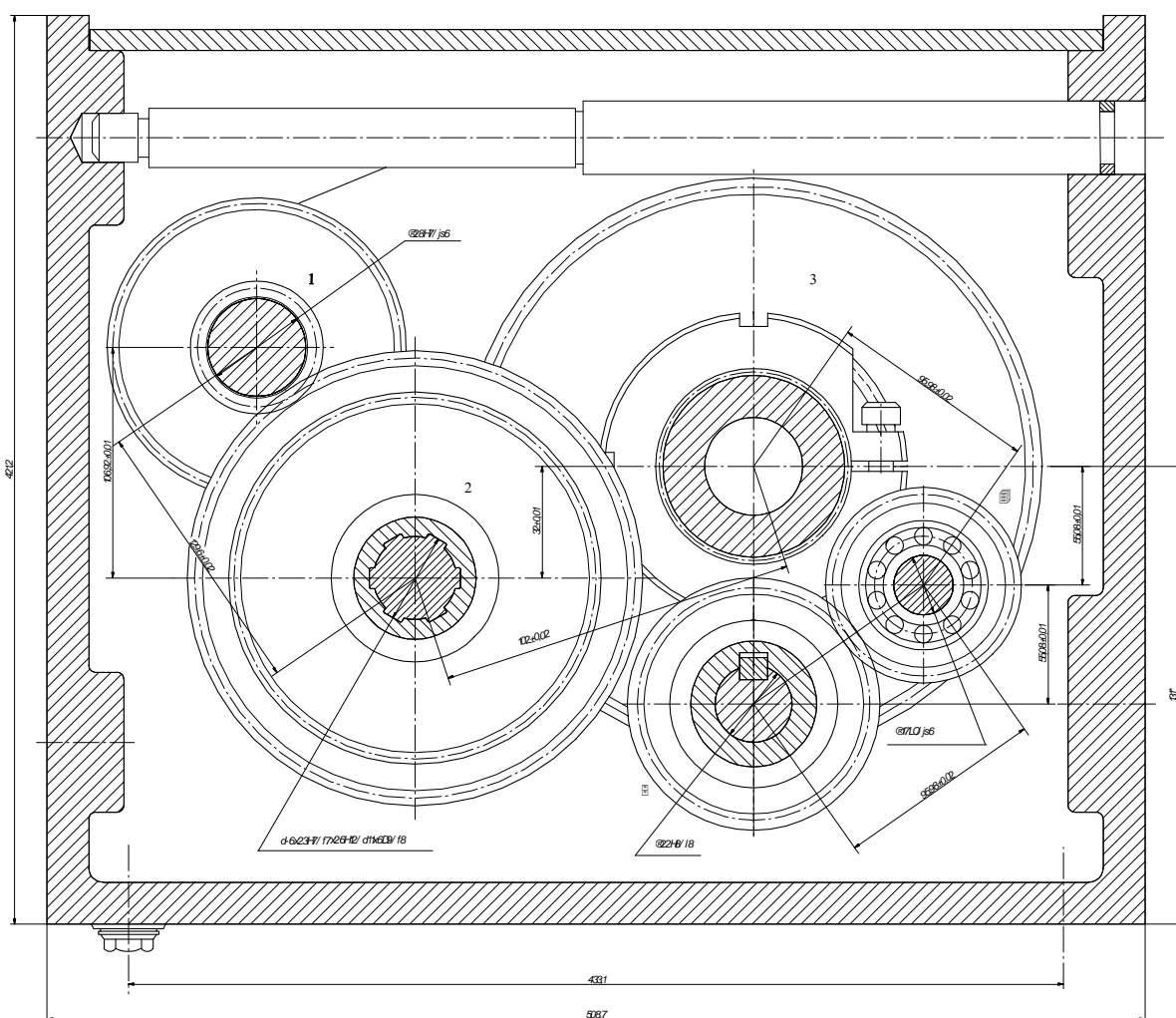


Рис. 7. Конструкція коробки швидкостей багатоцільового верстата (поперечне компонування)

Використання розробленого У складі модуля APM Graph є база даних [13], яка може бути використана для відображення типових деталей, вузлів та графічних фрагментів. Наявність розробленого параметризатора дозволяє користувачеві формувати власні бібліотеки деталей та вузлів різного ступеня складності. Єдина база даних системи APM WinMachine була доповнена графічною бібліотекою у параметризованому вигляді [30]. Особливу увагу було приділено варіантам виконання елементів механічних передач (зубчастих, черв'якових, ремінних та інш.).

механізму параметризації значно підвищує ефективність дослідження допустимих компонок з урахуванням побудованих параметричних моделей. У цьому кожен новий варіант синтезується лише зміною критерію оптимізації. Такий підхід до проектування на базі параметричних моделей підвищує якість прийнятих проектних рішень та продуктивність праці конструкторів.

## Висновки

В результаті виконання цього дослідження отримано такі результати:

1. Розроблено комплекс параметричних моделей поперечних компонок коробок швидкостей токарних верстатів у модулі APM Graph, що входить до складу інтегрованої САПР APM WinMachine. При побудові параметричних моделей використано синтаксис APM WinMachine, що дозволяє ефективно вирішувати завдання формування геометричних просторових машинобудівних виробів.

2. Створено алгоритми побудови оптимальних компонок на базі двокритеріальної задачі пошуку найкращого варіанту розташування валів та зубчастих коліс у фіксованому обсязі, обмеженому корпусом коробки швидкостей.

3. Реалізована процедура ідентифікації неприпустимих варіантів розташування зубчастих коліс щодо бічних сторін та дна корпусної деталі КШ, яка кардинально зменшує кількість варіантів, що розглядаються, при багатоваріантному проектуванні.

4. Підвищено продуктивність праці конструктора-верстатобудівника та якість прийнятих проектних рішень за рахунок вибору оптимальних компонентів на базі інструментарію параметризації.

### Література

- Бушуев В.В. Основы конструирования станков. Москва: Станкин, 1992. 520 с.
- Проектирование и расчет металлорежущих станков на ЭВМ: Учебное пособие для вузов/О.В. Таратынов, О.И. Аверьянов, В.В. Клепиков и др. Москва: МГИУ, 2002. 384 с.
- Кіпчарський В.П. Металорізальні верстати: Навчальний посібник. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. 143 с.
- Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. Харків: НТУ «ХП», 2020. 275 с.
- Дубинець О. Деталі машин. Розрахунок та конструювання. Київ: Талком, 2014. 684 с.
- Sokolov V., Krol O., Stepanova O. Mathematical model of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. Vol.17. – № 1, 2017.– Lublin, Poland. – P. 27–32.
- Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, № 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
- Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – Vol.13. – № 3. 2013. – Lublin, Poland. P. 114–119.
- O Krol, V Sokolov and P Tsankov. Modelling of vertical spindle head for machining centre / J. Physics: Conf. Series **1553** (2020) 012012. – VSPID-2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>
- Oleg Krol, Olga Porkuian, Volodymyr Sokolov, Petko Tsankov. Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters/ Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 2019, Vol 72, No 11, pp. 1546-1556. DOI: <https://doi.org/10.7546/CRABS.2019.11.12>
- Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. *Journal of Physics: Conf. Series*. 2019. 1278, 012002. VSPID-2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1278/1/012002>
- Романченко О.В. Вибір системи синхронізації електропривода довгомірних вібраційних верстатів / Вісник НТУ "ХП". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 52(1162). – С. 13–22.с.
- Замрий А.А. Практический учебный курс САД/САЕ АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие. Москва: Изд-во АПМ, 2004. 240 с.
- Krol O., Shevchenko S., Sukhorutchenko I., Lysenko A. 3D-modeling of the rotary table for tool SVM1F4 with non-clearance worm gearing // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. Vol. 14. № 1. 2014. Lublin, Poland. P. 126–133.
- Мелконов Г., Ветряк С. Удосконалення токарного верстата 1А62 (16К20) шляхом заміни стандартного вузла встановленням взаємо пересувного різцетримача для обробки деталей з малим діаметром при відрізних операціях / Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, № 1(249), 2019, с. 23-25.
- Sokolov V., Porkuian O., Krol O., Baturin Y. (2020) Design Calculation of Electrohydraulic Servo Drive for Technological Equipment. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_8)
- Кроль О.С., Кроль А.А., Бурлаков Е.И. Твердотельное моделирование и исследование шпиндельного узла обрабатывающего центра. Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП», 2013. № 16(989). С. 14–18.
- Николаенко А.П. Формирование поверхности изделия при вибрационной обработке. Вібрації в техніці та технологіях, №2 (58). Вінницький національний аграрний університет, 2010. С. 167-184.
- Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4 / Comission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 108–113.
- Кроль О.С. Методы и процедуры оптимизации режимов резания. Монография. Луганск: Вид-во СЧУ ім. В.Даля, 2013. 260 с.
- Krol O., Sokolov V. Rational choice of machining tools using prediction procedures / EUREKA: Physics and engineering, Number 4, 2018. p. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00667>
- Кроль О. С., Сухорутченко И. А. Трехмерное моделирование многооперационного станка модели СВМ1Ф4 в среде компас 3D. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 4. № 7 (70). С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26250>
- Кроль О.С., Кроль А.А. Расчет податливости станка СФ68ВФ4 и моделирование динамики формообразования // Вісник СевНТУ, вип. 117 «Машинобудування та транспорт», Севастополь, 2011. С. 81–84.
- Кроль О.С., Кроль А.А., Синдеева Е.В. Моделирование конструкции четырехопорного вала в САПР АРМ «WinMachine» // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. 36. наук. пр. Луганськ: СЧУ ім. В.Даля, 2008. С. 139–143.
- Shevchenko S., Mukhovaty A., Krol O. (2020) Gear Transmission with Conic Axoid on Parallel Axes. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp. 1–10. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_1)
- Кроль О.С. Построение параметрических моделей ременных передач с использованием системы АРМ WINMACHINE / Восточноевропейский журнал передовых технологий. 2012. № 2/7(62). С. 61–63.
- Кроль О.С., Шевченко С.В., Синдеева О.В., Покінтелиця М.І. Проектування механічних передач металорізальних верстатів за допомогою системи WinMachine. Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2007. 200 с.
- Krol O, Sokolov V. Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. *Diagnostyka*. 2020; 21(3):87–93. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/126026>
- Нерубашенко А.А., Кроль О.С., Кроль А.А. Создание базы данных параметрических моделей деталей станков в модуле АРМ Base // Вісник СевНТУ, 2010, вип.107. С.107–109.

30. Krol O., Sokolov V. Parametric modeling of machine tools for designers. Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. 112 p. DOI: <https://doi.org/10.7546/PMMTD.2018>

### References

- Bushuev V.V. Osnovy konstruyovaniya stankov. Moskva: Stankyn, 1992. 520 s.
- Proektyrovaniye y raschet metallorazhushhyh stankov na ЭВМ: Uchebnoe posobyе dlya vuzov/O.V. Taratsmov, O.Y. Aver'janov, V.V. Klepykov y dr. Moskva: MGYU, 2002. 384 s.
- Kipchars'kij V.P. Metalorizal'ni verstati: Navchal'nij posibnik. Mariupol': DVNZ «PDTU», 2018. 143 s.
- Gajdamaka A.V. Detali mashyn. Osnovy teorii' ta rozrahunkiv: navchal'nyj posibnyk dlya studentiv mashynobudivnyh special'nostej usih form navchannja. Harkiv: NTU «HPI», 2020. 275 s.
- Dubynec' O. Detali mashyn. Rozrahnok ta konstrujuvannja. Kyi'v: Talkom, 2014. 684 s.
- Sokolov V., Krol O., Stepanova O. Mathematical model of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. Vol.17. – № 1. 2017. – Lublin, Poland. – P. 27–32.
- Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, No. 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
- Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – Vol.13. – № 3. 2013. – Lublin, Poland. P. 114–119.
- O Krol, V Sokolov and P Tsankov 2020 Modelling of vertical spindle head for machining centre / J. Physics: Conf. Series **1553** (2020) 012012. – VSPID-2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>
- Oleg Krol, Olga Porkuian, Volodymyr Sokolov, Petko Tsankov. Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters/ Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, Vol 72, No 11, pp.1546-1556. DOI: <https://doi.org/10.7546/CRABS.2019.11.12>
- Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. *Journal of Physics: Conf. Series*. 2019. 1278, 012002. VSPID-2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1278/1/012002>
- Romanchenko O.V. Vibir sistemi sinhronizatsiyi elektroprivoda dovgomirnih vibratsiyniy verstativ / Visnik NTU "HPI". Seriya: Mehaniko-tehnologichni sistemi ta kompleksi. – 2015. – No 52(1162). – S. 13–22.
- Zamryj A.A. Praktycheskyj uchebnyj kurs SAD/CAE APM WinMachine. Uchebno-metodycheskoe posobyе. Moskva: Yzd-vo APM, 2004. 240 s.
- Krol O., Shevchenko S., Sukhorutchenko I., Lysenko A. 3D-modeling of the rotary table for tool SVM1F4 with non-clearance worm gearing // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. Vol. 14. № 1. 2014. Lublin, Poland. P. 126–133.
- Melkonov G., Vetryak E. Udoskonalennya tokarnogo verstata 1A62 (16K20) shlyahom zamini standartnogo vuzla vstanovlennam vzaemo peresuvnogo riztsetrimacha dlya obrobki detaley z malim diametrom pri vidriznih operatsiyah / Visnik Shidnoukrayn'skogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dallya, No 1(249), 2019. – S. 23–25.
- Sokolov V., Porkuian O., Krol O., Baturin Y. (2020) Design Calculation of Electrohydraulic Servo Drive for Technological Equipment. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_8)
- Krol' O.S., Krol' A.A., Burlakov E.Y. Tverdotel'noe modelyrovaniye y yssledovaniye shpyndel'nogo uzla obrabatyvayushhego centra. Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu «HPI». Seriya: Novi rishennja v suchasnyh tehnologijah. Har'kiv: NTU «HPI», 2013. № 16 (989). S. 14–18.
- Nikolaienko A.P. Formyrovaniye poverkhnosty yzdeyya pry vybratsyonnoy obrabotke. Vibratsiyni v tekhnitsi ta tekhnologiyakh, №2 (58). Vinnyts'kyi natsional'nyy ahraryny universytet, 2010. P. 167–184.
- Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4 / Commission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. – P. 108–113
- Krol' O.S. Metody y procedury optymizatsiyi rezhymov rezanya. Monografyja. Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalja, 2013. 260 s.
- Krol O., Sokolov V. Rational choice of machining tools using prediction procedures / EUREKA: Physics and engineering, Number 4, 2018. p. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00667>
- Krol' O. S., Suhorutchenko Y. A. Trehmerno modelyrovaniye mnogooperatsionnogo stanka modely SVM1F4 v srede kompas 3D. Vostochno-Evropskyj zhurnal peredovyh tehnologiy. 2014. T. 4. № 7 (70). S. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26250>
- Krol' O.S., Krol' A.A. Raschet podatlyvosty stanka SF68VF4 y modelyrovaniye dynamyky formoobrazovaniya // Visnyk SevNTU, vyp. 117 «Mashynobudovannja ta transport», Sevastopol', 2011. S. 81–84
- Krol' O.S., Krol' A.A., Syndeeva E.V. Modelyrovaniye konstruktsiyi chetyrehopornogo vala v SAPR ARM «WinMachine» // Resursozberigajuchi tehnologii' vyrobnyctva ta obrobky tyskom materialiv u mashynobudovanni. Zb. nauk. pr. Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2008. S. 139–143.
- Shevchenko S., Mukhovaty A., Krol O. (2020) Gear Transmission with Conic Axoid on Parallel Axes. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp. 1–10. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_1)
- Krol' O.S. Postroyeniye parametrycheskyh modelej remennyh peredach s yspolzovaniem systemy ARM WINMACHINE / Vostochnoevropskyj zhurnal peredovyh tehnologiy. 2012. № 2/7(62). S. 61–63.
- Krol' O.S., Shevchenko S.V., Sindjejeva O.V., Pokintelyca M.I. Proektuvannja mehanichnyh peredach metalorizal'nyh verstativ za dopomogoju systemy WinMachine. Navchal'nyj posibnyk. Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalja, 2007. 200 s.
- Krol O, Sokolov V. Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. *Diagnostyka*. 2020; 21(3):87–93. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/126026>
- Nerubashenko A.A., Krol' O.S., Krol' A.A. Sozdaniye bazy dannyh parametrycheskyh modelej detalej stankov v module ARM Base // Visnyk SevNTU, 2010, vyp.107. S.107–109.
- Krol O., Sokolov V. Parametric modeling of machine tools for designers. Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Pub-

lishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. 112 p. DOI: <https://doi.org/10.7546/PMMTD.2018>

**Krol O., Aliev V. Modeling of the structure of a four-support shaft by the stiffness criterion**

*Procedures for construction and modeling of transverse configurations of multi-operational screw-cutting lathe using parametric modeling methods are considered. It is proposed to consider the problem of the spatial layout synthesis for the drive of the main movement of the lathe (gearbox) as a two-criterion optimization problem. There are two main criteria for the effectiveness of the constructing task for transverse layout: 1) maximizing the stiffness of the output shaft of the gearbox and the machine spindle; 2) minimize the induced load on the front spindle support. A study of the optimization criteria influence on design decisions in the development of layout solutions in the working space of the machine. Algorithms and programs of parametric representation of multi-stage gearboxes in the integrated system of automated design "WinMachine" environment are developed. The efficiency of application of parameterization syntax in problems of geometric analysis and synthesis of spatial position of shafts and gears for metal-cutting equipment gearboxes is shown. The efficiency of using the APM Graph module interface in case of non-normative situations related to violation of the minimum allowable distance of the gears outer surface with the side wall of the housing and the bottom of the gearbox housing is shown. The peculiarity of the application of parameterization tools related to the use of a specialized design database of the*

*environment WinMachine automated design system is considered. The estimation of the difference between the factory variant and the obtained variant according to the criterion of optimal rigidity is given. For this purpose, the APM Shaft calculation module was used and the maximum deflection boom of the front end of the spindle was calculated in the two above-mentioned variants. The efficiency of application of the database section, which functions both with traditional graphic primitives and with structural elements in the parametric representation, is noted. The solution of the two-criterion problem of designing a lathe gearbox according to the criteria of maximum rigidity and minimum load on the front shaft support is proposed.*

**Keywords:** *spatial layout, main motion drive, lathe, parametric model, optimization criterion.*

**Кроль Олег Соломонович** – к.т.н., доц., професор кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), [krolos.snu.edu@gmail.com](mailto:krolos.snu.edu@gmail.com)

**Алієв Валерій Едуардович** – студент групи ГМ-20дм, факультет інженерії, кафедра машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк) [alieff.valery2013@gmail.com](mailto:alieff.valery2013@gmail.com)

Стаття подана 01.02.2022 р.