

І.Е. ЯКОВЕНКО, О.А. ПЕРМЯКОВ, Є.В. БАСОВА, О.В. КОТЛЯР, О.О. РУДЕНКО

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИ ОБРОБЦІ ОБ'ЄКТІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ПОРТАТИВНИМИ ВЕРСТАТАМИ

Проаналізовано основні компоновальні особливості портативних верстатів відносно до стаціонарних верстатів різних груп. Встановлено перспективи та ринкові тенденції, які вказують на поступове зростання використання обладнання даного класу при вирішенні завдань ремонту та модернізації різних об'єктів важкого та енергетичного машинобудування, а також у звичайному машинобудівному виробництві. Встановлено основні причини, що впливають на точність формоутворення поверхні при обробці портативними верстатами як з боку компоновальної структури обладнання, так і з боку технологічних параметрів процесу формоутворення. Розглянуто питання взаємозв'язку компоновальних рішень зі схемою базування портативного верстата на об'єкті обробки та кінематичною схемою формоутворення. На підставі цього взаємозв'язку встановлено та проаналізовано фактори, що впливають на точність формоутворення, що стало основою запропонованого методу управління точністю на ранніх етапах створення портативних верстатів, а саме за рахунок використання агрегатно-модульного принципу компоновання обладнання на етапі проєктування портативних верстатів. На підставі проведених досліджень запропоновано методикку проєктування портативних верстатів, що забезпечує управління точністю обробки, компоновання яких засноване на агрегатно-модульному принципі з використанням паспортизації технологічних модулів.

Ключові слова: механічна обробка, портативні верстати, компоновання, агрегатно-модульний принцип, проєктування, точність

I. YAKOVENKO, O. PERMYAKOV, Y. BASOVA, A. KOTLIAR, O. RUDENKO

ENSURING OF ACCURACY DURING PROCESSING OF HEAVY MACHINERY OBJECTS WITH PORTABLE MACHINES

The main layout features of portable machines with stationary machines of various groups are analyzed. The prospects and market trends for the growth in this class's equipment use in solving the problems of repair and modernization of various objects of heavy and power engineering, as well as in conventional engineering production, have been established. The main reasons that affect the accuracy of surface shaping during processing by portable machines are established, both from the side of the layout structure of the equipment and from the technological parameters of the shaping process. The issues of the relationship of layout solutions with basing a portable machine on the processing object and the kinematic scheme of shaping are considered. Based on this relationship, the factors affecting the accuracy of shaping were established and analyzed, which formed the basis of the proposed method for controlling accuracy at the early stages of creating portable machines, namely through the use of an aggregate-modular principle of equipment layout at the design stage of portable machines. This approach emphasizes the compliance of the proposed methodology with three modern concepts for the development of industrial production, namely, the widespread use of mechatronic systems, product lifecycle management through CALS technologies, and an integrated approach to creating technological systems through information technologies that form the basis of Industry 4.0. Based on the conducted research, a method for designing portable machine tools is proposed that provides control over the accuracy of processing, the layout of which is based on the aggregate-modular principle using the certification of technological modules.

Keywords: mechanical processing, portable machine tools, layout, aggregate-modular principle, design, accuracy

Вступ. Об'єкти важкого машинобудування в енергетиці та гірничодобувному устаткуванні, в основному, мають досить тривалий термін служби, у період якого необхідно підтримувати функціональність цих машин, а іноді й проводити модернізацію відповідно до технічного прогресу галузі (модернізація гідравлічних турбін електростанцій, відновлення зубчастих зачеплень крокуючих екскаваторів, ремонт з'єднань магістральних трубопроводів тощо). Однак демонтаж таких об'єктів практично неможливий або дуже утруднений і потребує значних фінансових та трудових витрат. Більш доцільно виконувати такі роботи безпосередньо на підприємстві, де обладнання експлуатується. І якщо раніше такі роботи виконувались із використанням ручної праці та механізованого ручного інструменту, то у теперішній час все частіше використовуються так звані портативні верстати, які дозволяють автоматизувати цикл обробки. Використання такого устаткування дозволяє не тільки скоротити обсяг ручної праці, значно скоротити час виконання операцій, отже, і час простою дорогого устаткування, а й, що не менш важливо, забезпечити більш високу точність виконання операцій порівняно із обробкою ручним інструментом.

Мета досліджень – встановлення та аналіз факторів і параметрів, які мають домінуючий вплив

на точність процесу обробки з використанням портативних верстатів, а також управління цими параметрами в процесі проєктування, виробництва та монтажу портативного обладнання для забезпечення необхідних параметрів точності відновлюваних або новостворюваних поверхонь при обробці вузлів і агрегатів, що не демонтуються, переважно для об'єктів важкого машинобудування.

Аналіз основних досягнень та літератури.

Сучасне машинобудування у процесі ремонту та модернізації обладнання, і не тільки важкого машинобудування, все частіше використовує переносні портативні верстати, що значно скорочує витрати на логістику. Це сприяє зростанню ринку портативних верстатів, незважаючи на більш високу вартість такого обладнання порівняно зі стаціонарними верстатами. Обсяг продажів портативних верстатів різних типів 2020 р. становив понад 23 млрд. дол., а до 2030 р. очікується близько 43 млрд. дол. [1]. Передбачається, що найбільш привабливим буде ринок верстатів, призначених для обробки фланців, а також свердлильної та фрезерної групи (рис. 1). Найбільш затребуваними портативні верстати будуть у нафтогазовій промисловості, машинобудівному виробництві та енергетичній галузі (рис. 2). Це пояснюється конструкцією та експлуатацією обладнання.

© І.Е. Яковенко, О. А. Пермяков, Є.В. Басова, О.В. Котляр О.О. Руденко, 2023

Питанням забезпечення точності при механічній обробці присвячено чимало досліджень, проте переважно ці дослідження торкалися забезпечення технологічної точності обробки на традиційному, стаціонарному устаткуванні [2, 3] для конкретних технологічних операцій [4]. Як сучасне рішення підвищення ефективності технологічних процесів визначено умови та вимоги для ширшого застосування автоматичної розмірної установки, визначено умови їхньої технологічної та економічної доцільності. При цьому розглядалися

переважно питання забезпечення точності безпосередньо у процесі експлуатації вже спроектованого та випущеного обладнання, не торкаючись питань точності технологічної системи, які можуть бути закладені ще на стадії проектування.

Способи підвищення точності обробки можна згрупувати за трьома напрямками: підвищення якості технологічної системи; пригнічення факторів, що діють на стабільність технологічної системи; керування ходом технологічного процесу [3].

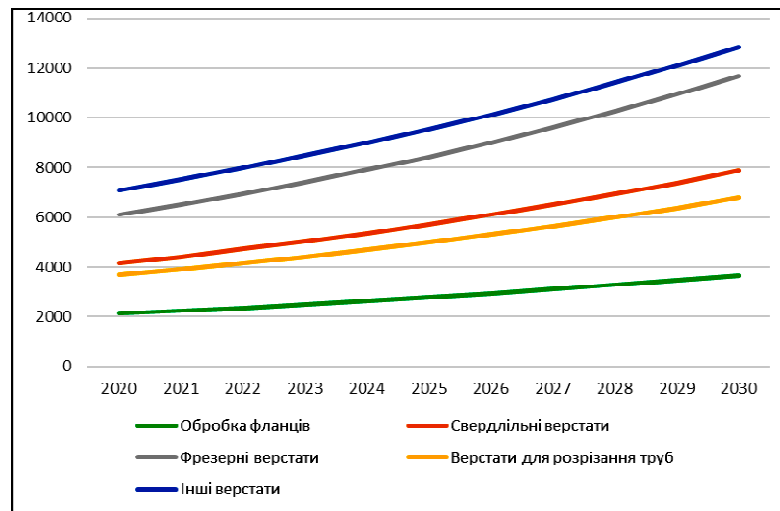


Рисунок 1 – Прогноз об'єму продаж портативних верстатів в млн. дол. США на 2020–2030 рр.

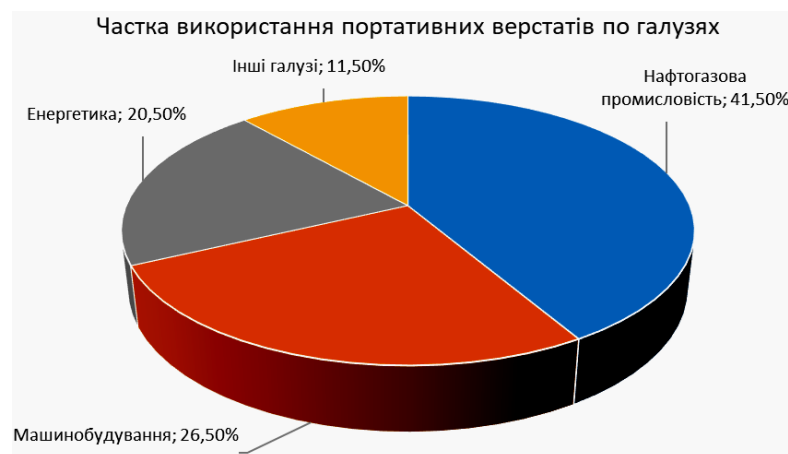


Рисунок 2 – Розподіл використання портативних верстатів по галузях

Підвищення якості технологічної системи здійснюють підвищенням її жорсткості, геометричної точності, зносостійкості, теплостійкості, вібростійкості. Підвищення жорсткості технологічної системи можна досягти скороченням числа стиків та ланок у розмірних та кінематичних ланцюгах, збільшенням жорсткості, створенням попереднього натягу, введенням додаткових опор при обробці нежорсткої заготовки. Підвищення геометричної точності технологічної системи здійснюють, усуваючи або звівши до мінімуму невизначеність базування заготовки за допомогою створення баз та механізмів затиску, які відповідають правилам теорії базування. Розглянуті вище засоби підвищення точності обробки

закладаються ще на етапі проектування компоновки технологічної системи.

У роботі [5] розглядаються найбільш загальні вимоги до процесу дизайну та проектування об'єктів машинобудування на прикладі металорізального обладнання.

Ці питання у контексті сучасного підходу до автоматизованого проектування з використанням систем CAD/CAM/CAE детальніше розглянуті у роботі [6]. У цій роботі представлені інструменти, методи та системи, які застосовуються у машинобудуванні (на прикладі комплексного проектування верстатів, інструментів, вимірвальних систем), які у поєднанні з інформаційними технологіями створюють основу

Індустрії 4.0. Автори наголошують, що машинобудування завжди було основою виробничої діяльності, а інформаційні технології, які є невід'ємною частиною Індустрії 4.0, є основним джерелом інновацій машинобудівного виробництва.

Питань підвищення точності обробки великогабаритних деталей торкалися у роботах [7, 8]. Однак, і в цьому випадку дослідження та рекомендації належали до обробки на стаціонарному обладнанні та стосувалися безпосередньо питань технології, не торкаючись компонувальних схем обладнання.

Однак усі розглянуті вище дослідження не враховували особливості портативних верстатів, які значно впливають на забезпечення точності процесу обробки.

З іншого боку, у роботах, присвячених портативним верстатам, основна увага приділялася компонувальним проектним рішенням [9–12] та використанню агрегатно-модульного принципу при проєктуванні [12, 13] без аналізу їх впливу безпосередньо на забезпечення точності подальшого формування поверхні обробки.

Матеріали дослідження. На відміну від традиційного компонування металорізального верстата, портативні верстати мають ряд особливостей, які мають значний вплив на забезпечення точності обробки.

По-перше, на відміну від верстатів традиційного стаціонарного компонування, не

заготовка доставляється до верстата, а верстат транспортується до заготовки.

По-друге, не заготовка базується і закріплюється на верстаті, а верстат базується і закріплюється на існуючій деталі, разом з інструментом і системою базування, причому при обробці однієї і тієї ж поверхні варіанти базування можуть бути різними і визначаються великою сукупністю факторів.

По-третє, портативний мобільний верстат практично завжди виконує одну конкретну операцію (тобто відсутня концентрація операцій).

По-четверте, оскільки портативний верстат монтується безпосередньо на оброблюваній деталі, його компонування має на увазі простоту транспортування, монтажу та демонтажу вузлів.

По-п'яте, з метою забезпечення необхідної точності обробки вузли та елементи портативного верстата повинні сформувати досить високу жорсткість конструкції після монтажу на об'єкті обробки за умов мінімізації їх габаритів та маси.

Для вирішення завдання забезпечення точності обробки авторами були проаналізовані основні фактори, що впливають на точність обробки з використанням будь-якої технологічної системи та виділено основні групи характеристик, що мають найбільший вплив на забезпечення точності обробки з точки зору обладнання для прийнятого структурного компонування (рис. 3).

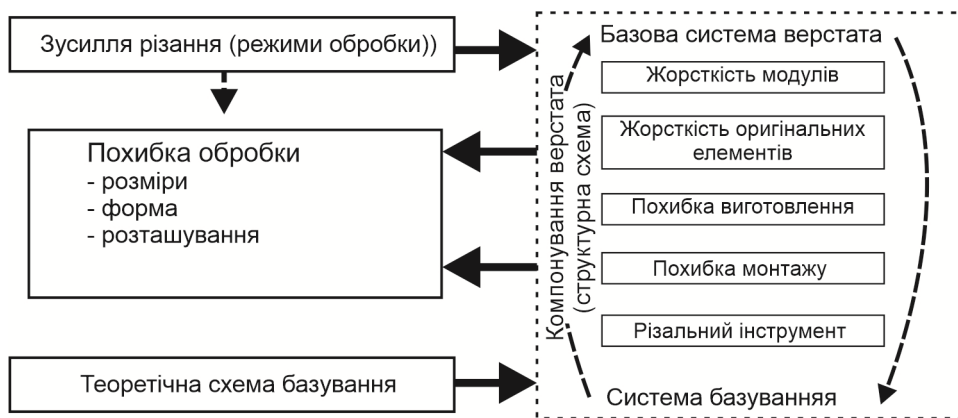


Рисунок 3 – Фактори, що впливають на точність обробки для обраного компонування верстата

Розглянемо вплив цих чинників докладніше.

Як зазначалося вище, портативні верстати мають низку особливостей, які визначають їх технологічні параметри. Основна з цих особливостей – монтаж модулів та елементів верстата безпосередньо на об'єкті обробки, який виступає в ролі несучого (базового) елемента конструкції.

Очевидно, що для типу устаткування, яке розглядається, вибір схеми базування в першу чергу обумовлено конструкцією оброблюваної деталі і розташуванням оброблюваних поверхонь. Так, наприклад, при обробці різних елементів труб і фланців на відкритих ділянках базування здійснюється по торцевій поверхні та зовнішньому

діаметру труби, для закритих ділянок найбільш часто застосовується схема базування по торцевій поверхні та внутрішньому діаметру (рис. 4), а при обробці отворів як однією з базових поверхонь може вибиратися саме оброблювана поверхня [14–18]. Таким чином, при обробці портативними модульними верстатами дуже часто саме формується поверхня, що виступає як одна із базових.

Такий підхід передбачає використовувати елементи базування, які забираються (відводяться) після монтажу та закріплення всіх модулів та елементів верстата на об'єкті обробки. Практично у всіх випадках для портативних верстатів здійснюється координація положення вузлів та елементів верстата у процесі монтажу відносно

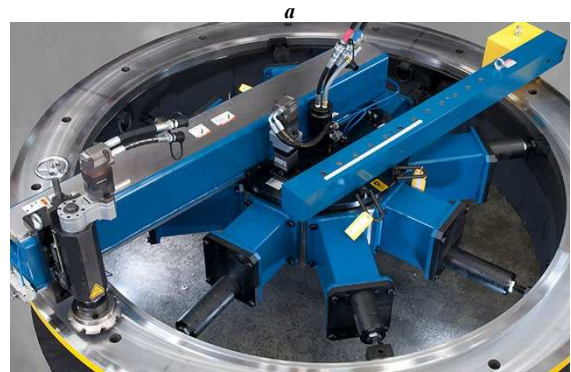
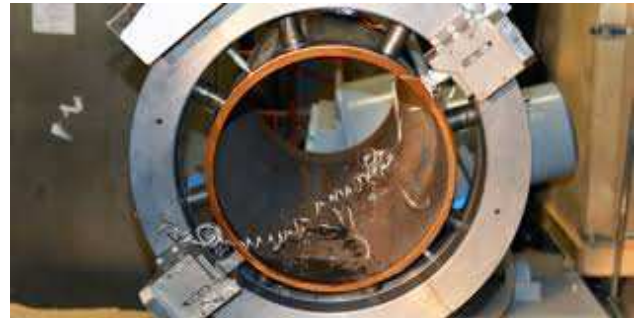
обробленої поверхні. А остаточна вивірка положення верстата, яка забезпечує необхідну траєкторію руху ріжучого інструменту, проводиться після встановлення всіх модулів.

Позиціонування різального інструменту значно спрощується при використанні портативних верстатів з механізмами паралельної структури систем позиціонування та шпиндельного вузла (типу гексапод) [19], оскільки в цьому випадку відсутня система базування в принципі. Верстат монтується поруч із об'єктом обробки, а позиціонування інструменту здійснюється за рахунок автоматизованого налаштування по 5-ти координатах (рис. 5). Таке обладнання умовно можна віднести до універсальних портативних верстатів, коли один верстат може охопити ширший діапазон об'єктів обробки порівняно зі звичайними. Однак, портативні верстати-гексаподи можуть бути використані для досить вузького кола об'єктів обробки через свої габарити і труднощі при монтажі, а також вони значно дорожчі за звичайні, і використання таких верстатів поки що не знайшло широкого застосування.

Вибір схеми базування пов'язаний насамперед із двома чинниками: з одного боку, траєкторією руху інструменту у процесі формоутворення поверхні, з другого, наявністю поверхонь деталі, які можна використовувати як бази (з урахуванням їхнього технічного стану). Як показав аналіз компоновальних схем та їх конструкторської реалізації, можна встановити кореляцію між кінематикою формоутворення поверхні (структурним компонованням портативного верстата) та схемою базування верстата на об'єкті обробки (з урахуванням варіантів закріплення).

У багатьох випадках налаштування верстата на обробку здійснюється за рахунок спеціальних пристроїв та елементів, що забезпечують мікропереміщення модулів та агрегатів. Такий підхід характерний переважно для верстатів, які

оснащені механічними модулями переміщення. При використанні мехатронних модулів процес остаточної вивірки дещо спрощується за рахунок визначення за допомогою систем керування «нульової точки» відліку переміщення всіх вузлів, які беруть участь у формоутворенні поверхні. Однак використання компонок портативних верстатів на базі мехатронних модулів здорожує конструкцію.



б

Рисунок 4 – Варіанти базування портативних верстатів під час обробки труб:
а – по зовнішньому діаметру;
б – за внутрішнім діаметром

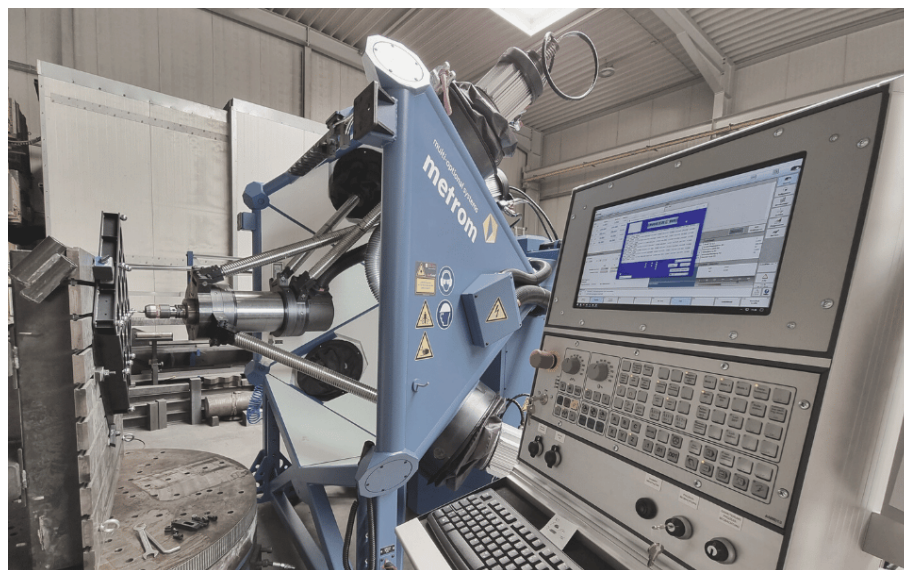


Рисунок 5 – Портативний верстат-гексапод компанії METROM

Застосування модульного компоновання в процесі створення портативних верстатів має низку

переваг, пов'язаних із викладеними вище особливостями такого обладнання:

- дозволяє найточніше забезпечити тільки ті вимоги виробництва, які потребує вирішення конкретної технологічної задачі машинобудівного виробництва, оскільки не вимагає створення надлишкових можливостей, які притаманні універсальному обладнанню;

- уніфікація та скорочення різноманітності модулів дозволяє ефективно відпрацювати їх конструкцію, що значно покращує експлуатаційні характеристики, ремонтпридатність, взаємозамінність тощо;

- передбачає можливість удосконалення методів та форм проектування, що дозволяє значно скоротити терміни проектування та виробництва верстатів за рахунок використання бази існуючих

уніфікованих технологічних модулів (агрегатів) при синтезі компоновок із використанням сучасних CAD/CAM систем проектування;

- дає можливість багаторазового використання значної частини модулів та агрегатів після виконання конкретного замовлення та демонтажу верстата, оскільки зазвичай цикл виконання технологічного завдання дуже короткий порівняно з терміном служби модулів портативного верстата.

На підставі проведених досліджень автори пропонують уточнену систему проектування портативних верстатів, компоновання яких базується на максимальному використанні уніфікованих модулів та агрегатів (рис. 6). Цей підхід не залежить від того, які саме модулі використовуються при створенні верстата – тільки механічні або мехатронні.

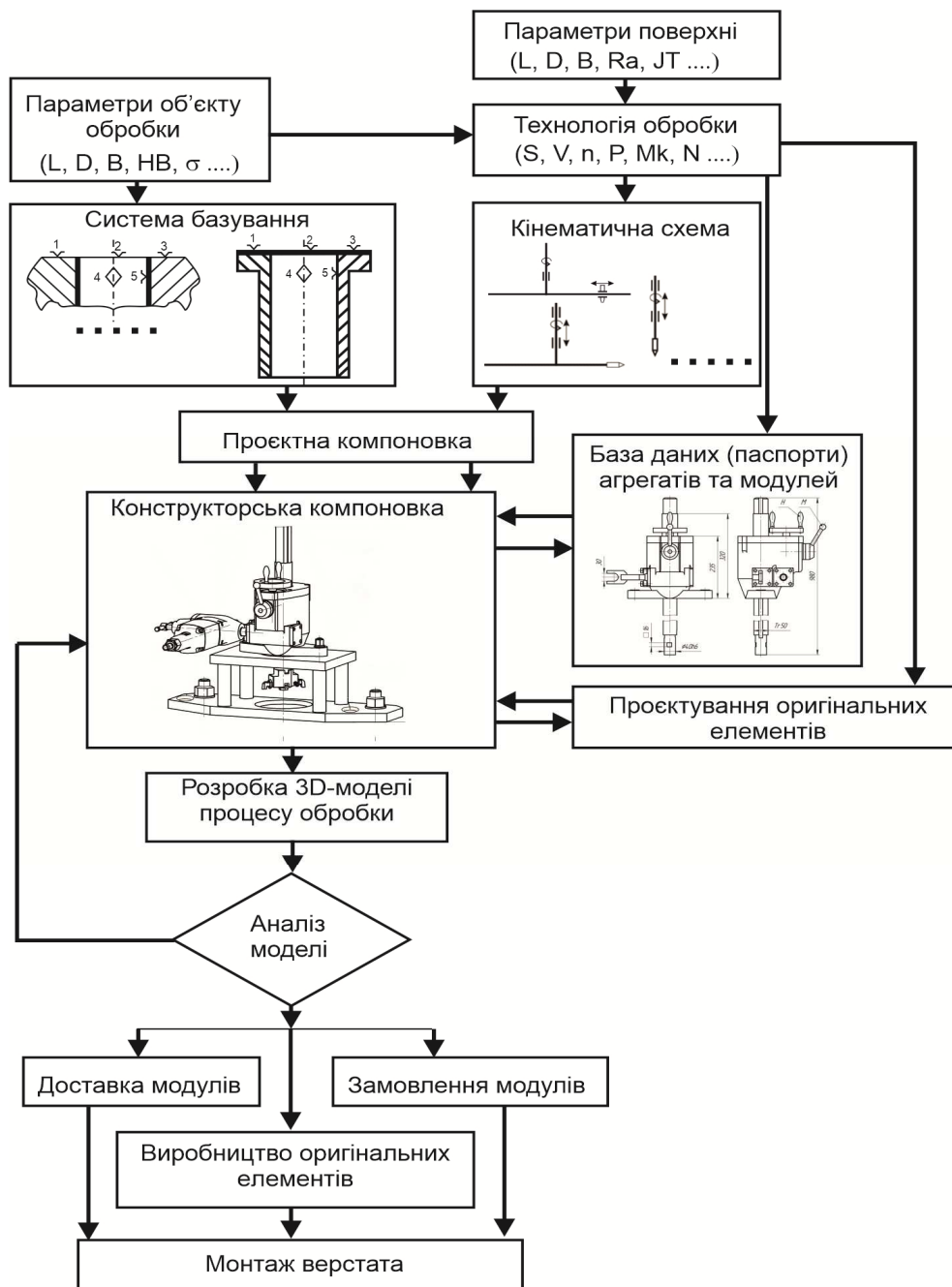


Рисунок 6 – Модель процесу проектування портативних верстатів агрегатно-модульної конструкції

На початковому етапі проектування, як і при класичній схемі, на підставі параметрів об'єкта обробки та поверхні, що формується, розробляється технологія обробки, розраховуються необхідні технологічні параметри, визначається система базування та кінематична схема обробки. На підставі цього формується проєктне компоунвання портативного верстата, яке є основою подальшої конструкторської розробки в цілому. Далі запропонована авторами статті схема відрізняється від класичного проектування завдяки розширенню етапу проектування конструкторського компоунвання за рахунок вибору модулів та уніфікованих елементів конструкції з бази даних таких елементів. База даних містить інформацію про силові агрегати, які можуть застосовуватися на даному обладнанні (пневматичні, гідравлічні, електричні), модулі забезпечення додаткових переміщень, елементи шпindelної групи для різних технологічних операцій, які характерні для портативних верстатів тощо. Причому база даних повинна містити інформацію не тільки про моделі та технологічні можливості модуля або уніфікованого елемента, а й додаткові характеристики (жорсткість, вібробезпечність тощо), які можуть бути отримані на спеціальних випробувальних стендах. Ця інформація необхідна на наступному етапі проектування – побудови 3D моделі процесу обробки та її аналізу у сучасних системах автоматизованого проектування (намі використовувалася система Solid Works).

Саме цей аналіз дозволяє керувати майбутньою точністю процесу формоутворення та вносити необхідні коригування в конструкторське компоунвання верстата (вибір інших технологічних модулів, зміна конструкцій та параметрів оригінальних елементів тощо) перед запуском процесу виробництва та монтажу.

Висновки. У роботі розглянуто перспективи використання портативних верстатів у різних галузях машинобудування. Авторами встановлено та проаналізовано основні фактори, що впливають на точність обробки виробів, які неможливо або недоцільно переміщати, при використанні портативних верстатів. Встановлено та обґрунтовано переваги агрегатно-модульного компоунвання таких верстатів. Отримані результати дозволили сформулювати модель процесу проектування портативних верстатів агрегатно-модульної конструкції, яка дає можливість керувати точністю процесу обробки вже на етапах прийняття компоувальних рішень під час створення такого обладнання.

Підтвердження. Загальний підхід та запропонована модель процесу проектування використовувалася на підприємстві «Українські енергетичні системи» під час створення портативних верстатів для модернізації об'єктів енергетики.

Список літератури

1. Global Portable Machine Tools Market By Type, By Application. *Market Research. Prodour*, 2021. Режим доступу: <https://market.us/report/portable-machine-tools-market/#>. – Дата звертання : 23 грудня 2022.

2. Решетов Д.И., Портман В.Т. *Точность металлорежущих станков* М.: Машиностроение, 1985. 336с.
3. *Машиностроение. Энциклопедия* / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение. Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Сусллова. 2000. 840 с, ил.
4. Svetlana Koleva, Milko Enchev. (2022). Modern problems and tendencies of effective accuracy control of turning operations. *AIP Conference Proceedings*, 2449, 060024
5. Nanwu Cai (2014). Analysis of Mechanical Engineering Design and Quality Control. *3rd International Conference on Science and Social Research (ICSSR 2014)*, pp.1366–1369.
6. Adam Hamrol, Józef Gawlik, Jerzy Śladek (2019). Mechanical engineering in industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, vol. 10, no. 3, pp. 14–28
7. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovolov A. (2018). Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 1 (3), pp.59–70.
8. Zhilyaev A S., Kugultinov S D., Efremov S M. (2019). Problems of ensuring accuracy in the manufacture of largesized thin-walled parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1-5
9. Yakovenko, I., Shepeliev, D., Sharlay, V., Permyakov, A., Slipchenko, S., Havryliuk, Y. (2022). Analysis and Synthesis of Mobile Portable Machine Tools Layouts. In: Cioboată, D.D. (eds) *International Conference on Reliable Systems Engineering ICoRSE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, vol 534. pp. 160–171. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_16.
10. Яковенко І.Е., Пермяков О.А. Використання портативних верстатів для ремонту і модернізації об'єктів важкого машинобудування. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції 01–03 вересня 2022 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2022. С. 174-175.*
11. Yakovenko, I., Permyakov, A., Ivanova, M., Basova, Y., Shepeliev, D. (2021). Lifecycle Management of Modular Machine Tools. In: Tonkonogiy, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner–2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 127-137 https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_13.
12. Пермяков А. А., Ищенко Г. И., Ищенко М. Г. Обработка великогабаритных деталей турбоагрегатов с использованием портативных верстатов. *Modern engineering and innovative technologies*, Germany. Вып. 15. 2021. С.17–26.
13. Яковенко І.Е., Милеева О.А., Ищенко М.Г. Агрегатно-модульный принцип при проектировании компоновок портативных станков. *XIV Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (01–04 грудня 2020 року): матеріали конференції / за ред. Проф. Є.І. Сокола. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 491.*
14. *Каталог фірми Mirage*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.miragemachines.com> – Дата звертання : 04 січня 2023
15. *Каталог фірми Serco*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.serco-tools.com/products> – Дата звертання : 04 січня 2023
16. *Каталог фірми Tomco*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.tomco.ca/tomco-industrial-ltd/machine-tool/lathes/> – Дата звертання : 05 січня 2023
17. *Каталог фірми Climax*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.climaxportable.com> – Дата звертання: 06 січня 2023
18. *Каталог фірми Protem*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.protemusa.com> – Дата звертання : 08 січня 2023
19. *Каталог фірми Metrom*. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.metrom.com> – Дата звертання : 08 січня 2023

References (transliterated)

1. Global Portable Machine Tools Market By Type, By Application. *Market Research. Prodour*, 2021. Available at:

- <https://market.us/report/portable-machine-tools-market/#>. (accessed 23.12.2022).
- Reshetov D.Y., Portman V.T. *Tochnost metallorazhushchykh stankov [Machine Tool Precision]*. Moscow. Mashynostroeniye, 1985. 336 p.
 - Mashynostroeniye. Entsiklopediya [Engineering. Encyclopedia]*. Red. sovet: K.V. Frolov (pred.) y dr. Moscow. Mashynostroeniye. Tekhnolohiya yzgotovleniya detalei mashyn [Manufacturing technology of machine parts] T. III-3. A.M. Dalskiy, A.H. Suslov, Yu.F. Nazarov y dr.; Pod obshch. red. A.H. Suslova. 2000. 840 p, fig.
 - Svetlana Koleva, Milko Enchev. (2022). Modern problems and tendencies of effective accuracy control of turning operations. *AIP Conference Proceedings*, 2449, 060024
 - Nanwu Cai (2014). Analysis of Mechanical Engineering Design and Quality Control. *3rd International Conference on Science and Social Research (ICSSR 2014)*, pp.1366–1369.
 - Adam Hamrol, Józef Gawlik, Jerzy Śladek (2019). Mechanical engineering in industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, vol. 10, no. 3, pp. 14–28
 - Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. (2018). Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 1 (3), pp.59–70.
 - Zhilyaev A S., Kugultinov S D., Efremov S M. (2019). Problems of ensuring accuracy in the manufacture of largesized thin-walled parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1-5
 - Yakovenko, I., Shepeliev, D., Sharlay, V., Permyakov, A., Slipchenko, S., Havryliuk, Y. (2022). Analysis and Synthesis of Mobile Portable Machine Tools Layouts. In: Cioboată, D.D. (eds) *International Conference on Reliable Systems Engineering ICoRSE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, vol 534. pp. 160–171. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_16.
 - Yakovenko I.E., Permiakov O.A. (2022). Vykorystannia portatyvnykh verstativ dlia remontu i modernizatsii ob'ektiv vazhkoho mashynobuduvannia [Using portable machines to repair and modernise heavy engineering facilities. Heavy engineering]. *Vazhke mashynobuduvannia. Problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy XX Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii 01–03 veresnia 2022 roku / za zah. red. V. D. Kovalova*. Kramatorsk-Ternopil: DDMA, 2022. pp. 174–175.
 - Yakovenko, I., Permyakov, A., Ivanova, M., Basova, Y., Shepeliev, D. (2021). Lifecycle Management of Modular Machine Tools. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskiy, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner–2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 127–137 https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_13.
 - Permiakov A. A., Yshchenko H. Y., Yshchenko M. H. (2021). Obrobka velykohabarytnykh detalei turboahrehativ z vykorystanniam portatyvnykh verstativ [Processing of large parts of turbine units using portable machines]. *Modern engineering and innovative technologies*, Germany, vol. 15, pp.17–26.
 - Yakovenko Y. E., Myleeva O. A., Yshchenko M. H. (2020). Ahrehatno-modulnyi prynstyp pry proektyrovannyi komponovok portatyvnykh stankov [Aggregate-modular principle in the design of layouts of portable machines]. *XIV International Scientific and Practical Conference of Master's and Postgraduate Students "Theoretical and Practical Research of Young Scientists"* (01-04.12.2020). Kharkiv: NTU «KhPI», pp. 491.
 - Kataloh firmy Mirage*. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.miragemachines.com> (accessed 04.01.2023)
 - Kataloh firmy Serco*. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.serco-tools.com/products> (accessed 04.01.2023)
 - Kataloh firmy Tomco*. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.tomco.ca/tomco-industrial-ltd/machine-tool/lathes/> (accessed 05.01.2023)
 - Kataloh firmy Climax*. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.climaxportable.com> (accessed 06.01.2023)
 - Kataloh firmy Protém*. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.protemusa.com> (accessed 08.01.2023)
 - Kataloh firmy Metrom* [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.metrom.com> (accessed 08.01.2023)

Поступила (received) 26.01.2023

Відомості про авторів / About the Authors

Яковенко Ігор Едуардович (Yakovenko Ihor) – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8344-996X>, e-mail: igor.dych59@gmail.com

Пермяков Олександр Анатолійович (Permyakov Oleksandr) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9589-0194>, e-mail: perm_a@i.ua

Басова Євгенія Володимирівна (Basova Yevheniia) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8549-4788>, e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com

Котляр Олексій Віталійович (Kotliar Alexey) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-0395>, e-mail: Alexeykotliar@gmail.com

Руденко Олексій Олексійович (Rudenko Oleksii) – аспірант кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5971-3270>, e-mail: technoxmt@gmail.com