

В. М. Тонконогий, С. А. Зелинський, А. Ж. Ткач, Ю. О. Сребрій
Одеський національний політехнічний університет

ЗНИЖЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ КОЛИВАНЬ ПІД ЧАС ФРЕЗЕРУВАННЯ МАЛОЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА РАХУНОК МОДУЛЯЦІЇ ШВИДКОСТІ ГОЛОВНОГО РУХУ ВЕРСТАТА

© Тонконогий В. М., Зелинський С. А., Ткач А. Ж., Сребрій Ю. О., 2016

Пропонується спосіб підвищення вібростійкості технологічної системи за рахунок модуляції швидкості головного руху верстата введенням додаткового керуючого модуля. Запропонований спосіб є універсальним і може бути реалізований на верстатах з різними системами ЧПК.

Ключові слова: верстати з ЧПК, технологічна система, вібростійкість, модуляція швидкості.

A method of enhancing the vehicle vibration resistance due to the modulation speed of the machine the main motion by introducing additional control module. The proposed method is universal and can be implemented on a variety of machines with CNC systems.

Key words: CNC machines, technological system, vibration resistance, modulation speed.

Постановка проблеми. Істотною проблемою під час оброблення маложорстких деталей є автоколивання, зокрема регенеративні коливання, що виникають в процесі різання. Такими деталями є моноколеса, турбінні лопатки, лопасті тощо. Як правило, до цих деталей ставлять жорсткі вимоги щодо точності та якості обробленої поверхні [1]. Ці деталі, через малу жорсткість, схильні до підвищеного впливу вібрацій, що призводить до істотного зниження ефективності та якості обробленої поверхні [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З аналізу літератури відомі кілька способів гасіння регенеративних коливань. Найпоширеніші:

- Використання в'язкопружних демпфувальних середовищ.
- Використання додаткових опор.
- Модуляція швидкості головного руху верстата.

У першому випадку для гасіння вібрацій потрібні дорогі демпфувальні середовища, закупувати які доводиться за кордоном, а також встановлення на верстати огороження. У другому випадку потрібне встановлення додаткових опор, що не завжди можливо. Найтехнологічнішим у плані практичної реалізації для оброблення деталей типу лопаток турбін, моноколес, лопастей є спосіб модуляції швидкості різання. Переваги цього способу наведено в [3–5].

Формулювання цілі статті. Метою цієї роботи є практична реалізація способу збільшення вібростійкості технологічної системи (ТС) за рахунок модуляції швидкості головного руху верстата за допомогою введення додаткового керуючого модуля. Додатковий модуль, що підключається, імітує функцію корекції, що дає змогу перетворити постійну швидкість головного руху, що задається системою ЧПК верстата, на варійовану. Не вимагаючи додаткових конструктивних змін у системі ЧПК верстата, метод дозволить модулювати швидкість головного руху в межах $\pm 10\%$ від величини швидкості, заданої керуючою програмою (КП). Введена у такий спосіб модуляція швидкості головного руху верстата зменшує величину регенеративних коливань, які виникають під час оброблення маложорстких деталей. Запропонований спосіб універсальний і може бути реалізований на верстатах з ЧПК різних фірм-виробників.

Виклад основного матеріалу. Спосіб зниження регенеративних коливань модуляцією швидкості головного руху під час контурного фрезерування маложорстких складнопрофільних деталей є найбільш технологічним і ефективним [3] порівняно з іншими відомими способами.

Однак практична реалізація принципу модуляції швидкості головного руху на верстатах з ЧПК ускладнена. Основна проблема зумовлена тим, що функція модуляції частоти обертання шпинделя у сучасних системах ЧПК верстатів не передбачена. Відомі способи здійснення модуляції здебільшого припускають втручання у структуру системи ЧПК і її конструктивних змін. Сьогодні це також є проблемою, тому що фірми-виробники, як правило, не допускають втручання у структуру ЧПК, що обмежує можливості її модернізації.

Способи обійти це обмеження являють собою модуляцію швидкості головного руху, що реалізується за рахунок штучного збільшення кадрів у КП, в яких передбачено зміну частоти звернення шпинделя (адреса S). Такий шлях є трудомістким, потребує ускладнення КП й істотного збільшення її розмірів за рахунок значного зростання кількості кадрів. Крім того, використання інтерполяції КП і так ділить траєкторію на надмалі ділянки. У зв'язку з цим ефективність такого методу різко знижується.

Запропонований в цій статті метод дає змогу позбутися перерахованих вище недоліків. Не вимагаючи конструктивного втручання в систему ЧПК, він також не потребує змін КП. Керування модуляцією швидкості різання здійснюється імітацією сигналів, що надходять у систему ЧПК з верстатного пульта. Для практичної реалізації методу використовується коректор частоти обертання шпинделя, розміщений на пульті програмного керування верстатом. Під час відпрацювання КП система ЧПК постійно опитує стан коректора і залежно від його положення коригує завдання, що відправляється на привід головного руху верстата. В розрив цього ланцюга введено спеціальну коригувальну ланку, яка уможливорює керування частотою обертання шпинделя згідно із заданими параметрами модуляції. Цей шлях є простішим для практичної реалізації, не потребує великих трудовитрат, його легко реалізувати на верстатах з різними системами ЧПК.

Основна концепція розробленого методу полягала в можливості здійснювати модуляцію швидкості головного руху за різними законами в необхідних межах, з регульованою частотою і, що суттєво, без конструктивних втручань у жорстку структуру системи ЧПК. Важливою є також можливість реалізації способу на системах ЧПК різних фірм-виробників.

Спосіб реалізований на фрезерному верстаті OMM64SC виробництва ХК «Мікрон», оснащеному системою ЧПК Siemens 802D. Коригувальна ланка, що складається з додаткової плати введення–виведення E-14-140 фірми «L-CARD» (рис. 1) і ноутбука, під'єднується до ланцюга коректора регулювання частоти обертання шпинделя. Для контролю швидкості обертання шпинделя використано круговий енкrementальний енкодер HTR-5B-100 (рис. 2).



Рис. 1. Зовнішній вигляд плати E-14-140

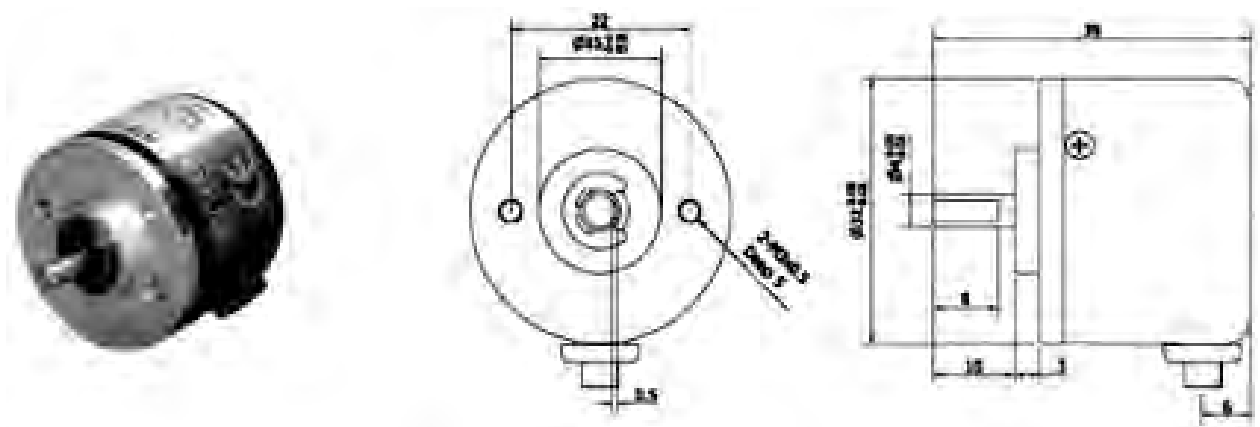


Рис. 2. Зовнішній вигляд і габаритні розміри
кругового інкрементального енкодера РЕК-5В-100

Проведено експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язку між глибиною і частотою модуляції за різних частот обертання шпинделя, а також визначено можливі границі режимів модуляції швидкості під час роботи приводу головного руху верстата в різних діапазонах.

Дослідження проводилися в трьох діапазонах зміни частоти обертання шпинделя:

- 800–1200 хв^{-1} .
- 900–1100 хв^{-1} .
- 1800–2200 хв^{-1} .

Зміна частоти обертання шпинделя здійснювалася дискретно програмним способом з частотою 0,5, 1 і 5 Гц.

Результати експериментів подано у вигляді графіків залежності зміни реальної частоти обертання шпинделя верстата у часі.

Графіки, представлені на рис. 3–11, показують залежність реальної частоти обертання шпинделя від частоти модуляції швидкості для трьох фіксованих діапазонів роботи двигуна головного руху верстата.

Частота модуляції 0,5 Гц.

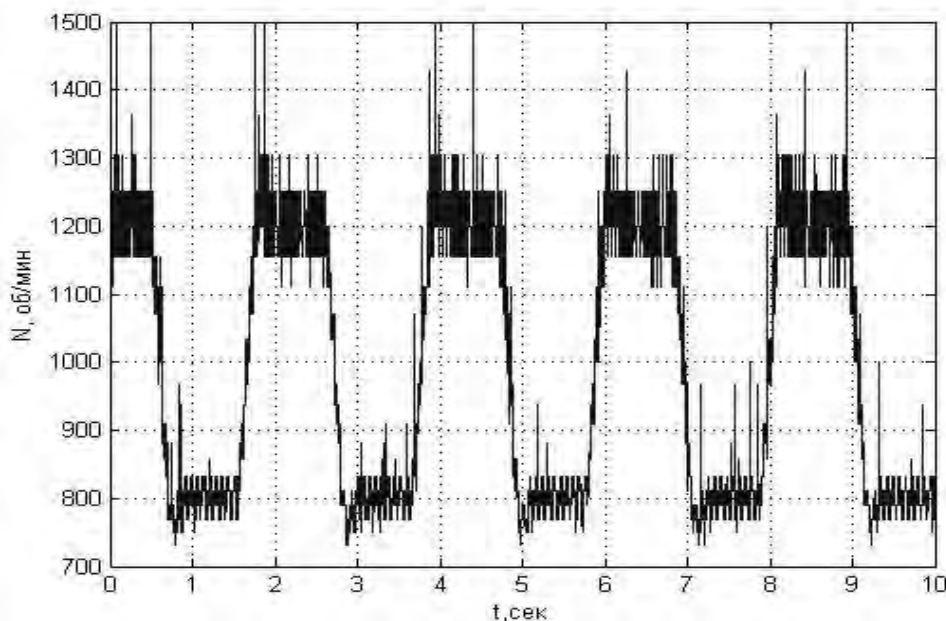


Рис. 3. Діапазон частоти обертання шпинделя 800–1200 хв^{-1}

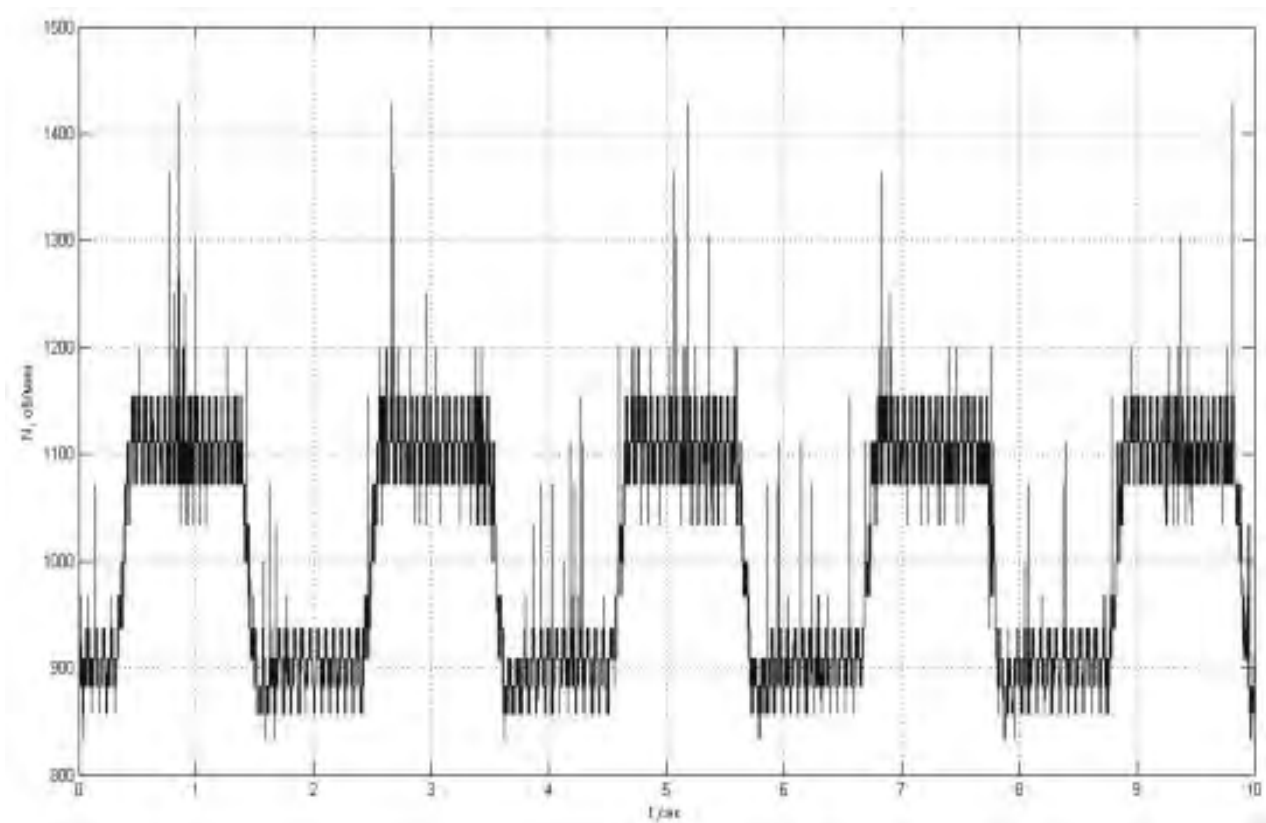


Рис. 4. Діапазон частоти обертання шпинделя 900–1100 хв^{-1}

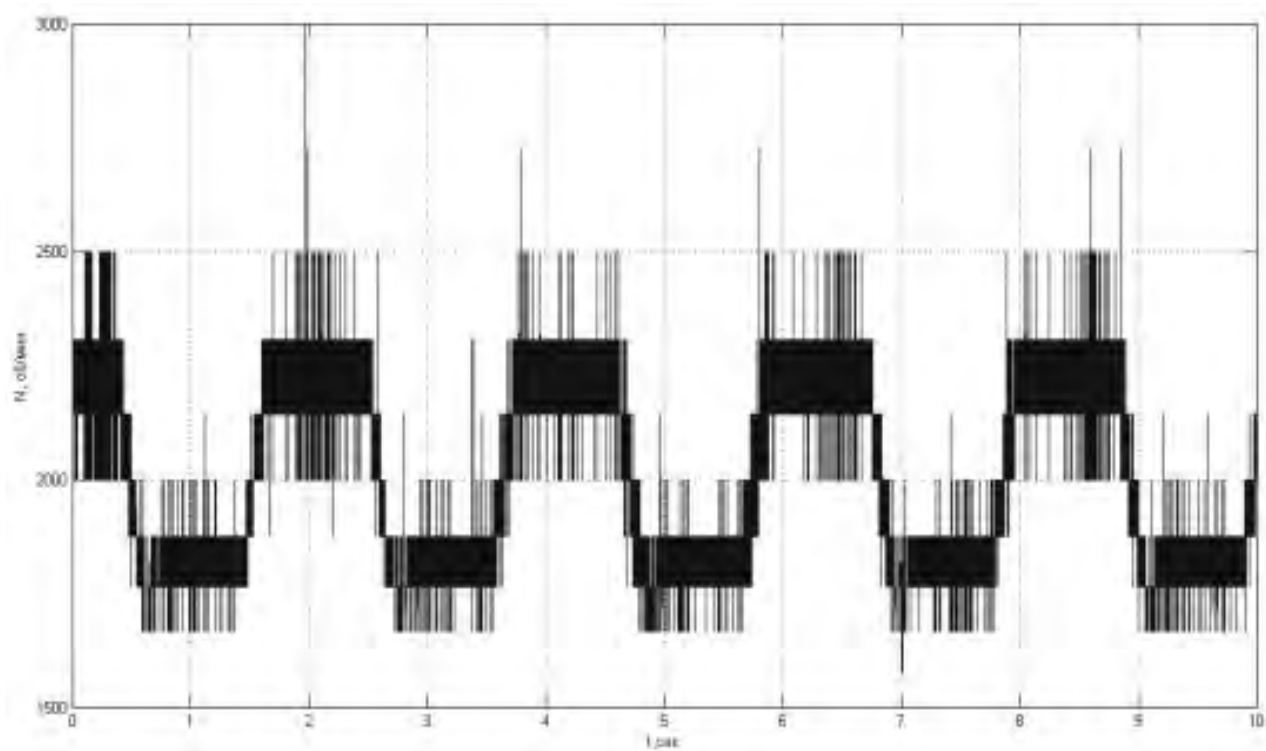


Рис. 5. Діапазон частоти обертання шпинделя 1800–2200 хв^{-1}

Частота модуляції 1 Гц.

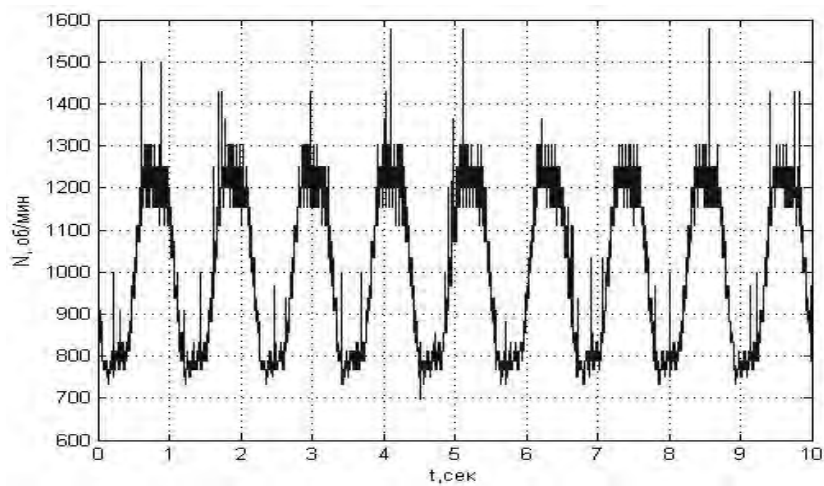


Рис. 6. Діапазон частоти обертання шпинделя 800–1200 хв^{-1}

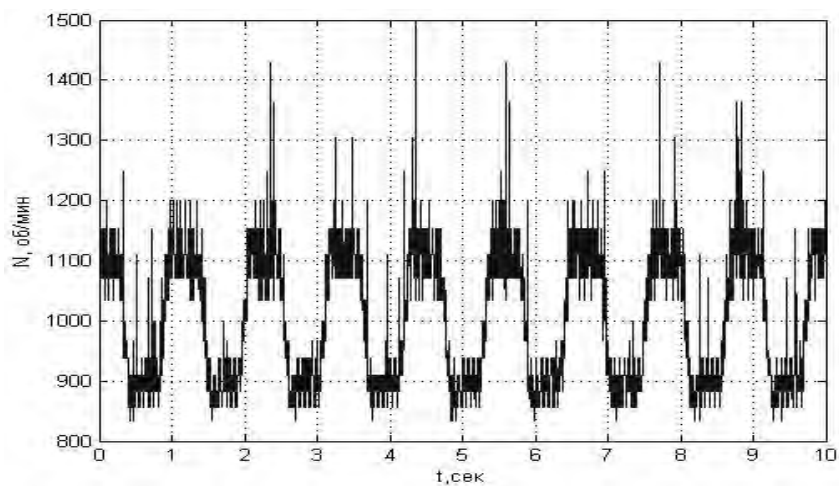


Рис. 7. Діапазон частоти обертання шпинделя 900–1100 хв^{-1}

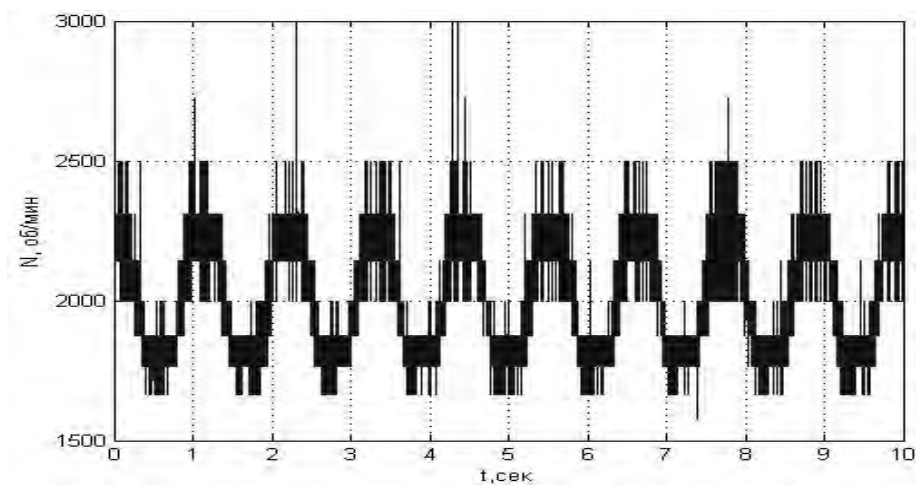


Рис. 8. Діапазон частоти обертання шпинделя 1800–2200 хв^{-1}

Частота модуляції 5 Гц.

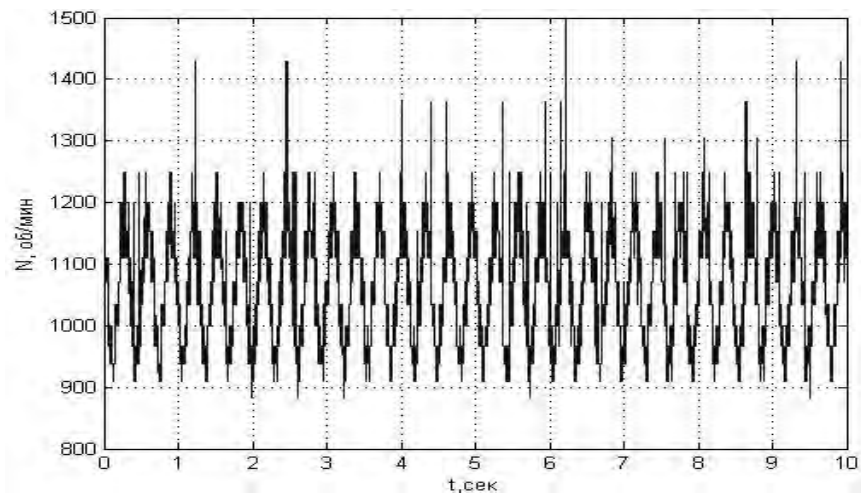


Рис. 9. Діапазон частоти обертання шпинделя $800\text{--}1200\text{ хв}^{-1}$

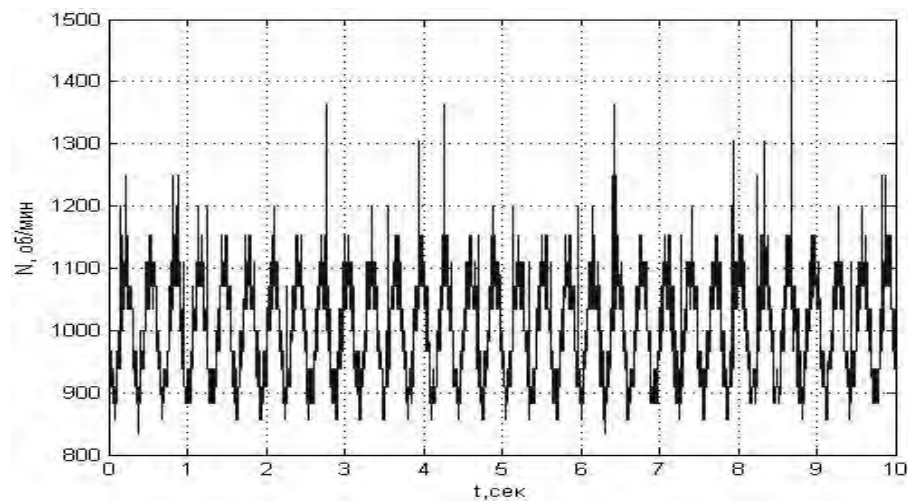


Рис. 10. Діапазон частоти обертання шпинделя $900\text{--}1100\text{ хв}^{-1}$

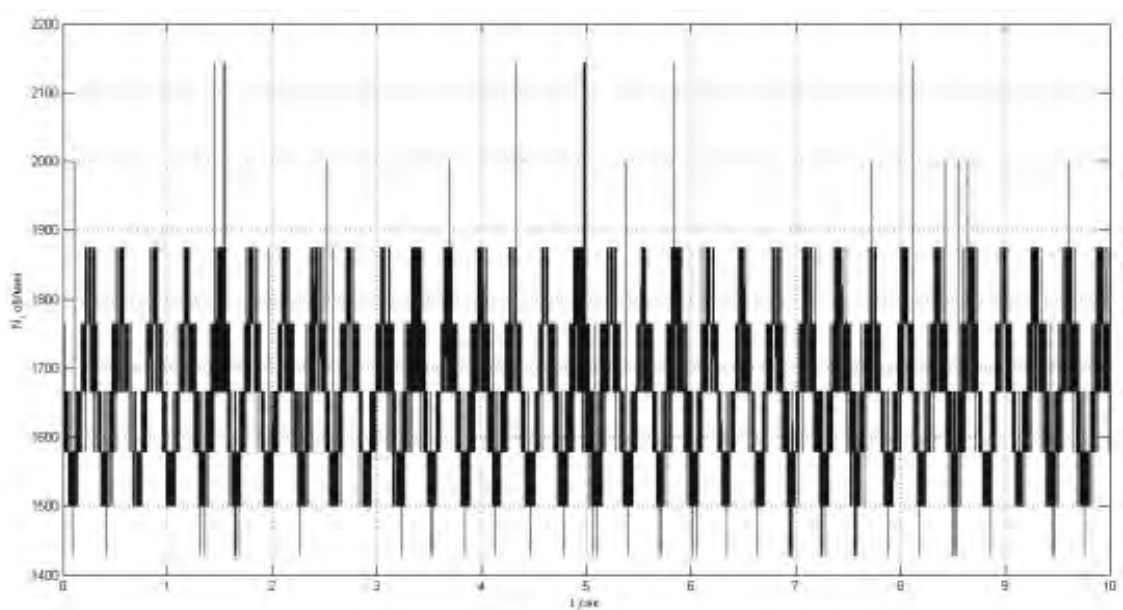


Рис. 11. Діапазон частоти обертання шпинделя $1800\text{--}2200\text{ хв}^{-1}$

Експериментально підтверджено, що ефективно здійснювати модуляцію можна в області допустимих режимів роботи приводу головного руху верстата. Область допустимих і недопустимих режимів приводу визначається співвідношенням величини корекції швидкості та частоти її модуляції.

На рис. 12 показана допустима область режимів модуляції для верстата OMM64SC. Область безвібраційних режимів різання можна визначити за допомогою побудови математичної моделі [6]. Однак ефективне використання математичної моделі припускає розроблення цієї моделі для конкретних умов, що ускладнює практичне використання такого способу.

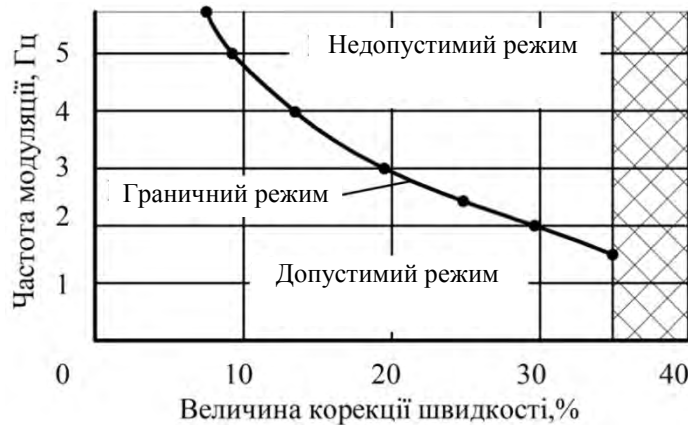


Рис. 12. Області роботи приводу головного руху

У діапазоні обертання шпинделя до 1500 хв^{-1} і за великих частот перемикання між швидкостями (менш ніж 5 Гц) верстат доволі точно відпрацьовує завдання на зміну швидкості.

У діапазонах обертання шпинделя понад 1500 хв^{-1} область допустимого діапазону забезпечуватиметься за рахунок зменшення частоти модуляції (менш ніж 5 Гц).

У результаті виконання робіт вдалося добитися істотного зниження величини регенеративних коливань під час оброблення маложорстких деталей на фрезерних верстатах з ЧПК.

Висновки. За результатами експериментів та на підставі аналізу наведених графіків можна зробити такі висновки:

- Система ЧПК Siemens 802D з використанням додаткового зовнішнього модуля допускає керування частотою модуляції швидкості головного руху в усьому допустимому діапазоні частот обертання приводу згідно з паспортними даними верстата OMM64SC.

- У діапазоні обертання шпинделя до 1500 хв^{-1} і за невеликих частот модуляції швидкості (менше ніж 5 Гц) верстат доволі точно відпрацьовує завдання на зміну швидкості.

- У діапазонах обертання шпинделя понад 1500 хв^{-1} область допустимого діапазону глибини модуляції може забезпечуватися тільки за рахунок зменшення частоти модуляції (менше ніж 5 Гц) або істотного зниження її амплітуди, однак в разі істотного зниження амплітуди спостерігається зменшення ефективності.

- У діапазонах обертання шпинделя понад 1500 хв^{-1} і за частот модуляції швидкості понад 5 Гц привід верстата не може повною мірою забезпечити відпрацювання завдання.

- Існують області допустимого і недопустимого режимів роботи приводу верстата, які допускають або не допускають здійснення модуляції швидкості головного руху. Ці області розділені граничним режимом, який не забезпечує надійного здійснення модуляції.

- Величина і форма цих областей залежать від співвідношення частоти й амплітуди модуляції швидкості головного руху.

1. Зелинский С. А. Управление точностью обработки криволинейных поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ / Зелинский С. А. // Стратегия качества в промышленности и образовании: матер. 3-й Международной конференции. – Варна. – 2008. – Т. 1. – С. 405–408.

2. Тонконогий В. М. Механизм возникновения колебаний при обработке однолезвийными коническими развертками одностороннего резания / Тонконогий В. М., Оргиян А. А., Голобородько А. М., Перпери Л. М. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХПИ, 2014. – Вып. 84. – С. 215–222. 3. Свинин В. М. Фрезерование с модулированной скоростью резания / Свинин В. М.; под. ред. А. И. Промтова. – Иркутск: Изд-во Ир:ТТУ, 2007. – 304 с. 4. Внуков Ю. Н. Оценка эффективности и качества обработки тонкостенных деталей при концевом фрезеровании / Ю. Н. Внуков, А. И. Гермашев, П. А. Каморкин, Е. Б. Козлова // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – Одеса, 2014. – Вип. 2(7). – С. 97–108. 5. Качан А. Я. Особенности колебаний деталей газотурбинных двигателей при высокоскоростном строчном фрезеровании [Текст] / А. Я. Качан, Ю. Н. Внуков, Д. В. Павленко, Г. В. Карась, С. В. Мозговой // Вісник двигунобудування. – 2007. – № 1. – С. 69–76. 6. Зелинский С. А. Математическая модель контурного фрезерования нежестких деталей / Зелинский С. А., Морозов Ю. А., Серебрий Ю. А. // Праці ОНПУ. – 2015. – Вип. 2(36). – С. 21–24.