

УДК 674.055

**С. А. Гриневич, А. И. Горчанин**

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ХОЛОСТОГО ХОДА  
В ПРИВОДАХ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ**

Энергосбережение является одним из приоритетов государственной политики Республики Беларусь. При этом важной задачей выступает эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов, т. е. применение энергии экономически оправданными, прогрессивными способами с достижением максимально возможной эффективности использования энергетических ресурсов. Повышение показателей энергоэффективности может быть достигнуто не только путем внедрения в промышленность новых технологий и конструкций оборудования, но и путем минимизации потерь.

Целью работы выступает исследование потерь мощности на холостой ход в приводах резания фрезерных дереворежущих станков. Изучение затрат мощности на холостой ход необходимо для определения путей их снижения. В статье приведены результаты экспериментальных исследований величины мощности холостого хода в приводе резания промышленного фрезерного станка ФСА с нижним расположением шпинделя. Получены значения величины мощности, затрачиваемой на холостой ход, и установлен характер влияния частоты вращения привода на изменение потерь мощности. Показана необходимость применения повышающих ременных передач даже для регулируемых приводов в механизмах главного движения деревообрабатывающих станков. Рассмотрен вопрос о возможности использования формул для расчета потерь мощности на холостой ход, полученных для металлорежущих станков.

**Ключевые слова:** станок, механизм, холостой ход, мощность, зависимость, исследование.

**S. A. Grinevich, A. I. Gorchanin**

Belarusian State Technological University

**THE RESEARCH OF POWER IDLING  
IN CUTTING DRIVE OF MILLING MACHINES**

Energy conservation is one of priorities of the state policy of the Republic of Belarus. The important task is the effective and rational use of energy power resources, i. e. the use of energy is economically viable, progressive way of achieving the greatest possible efficiency in the use of the energy resources. Improving energy efficiency can be achieved by minimizing losses, as well as introducing into industry new technologies and equipment designs, but.

The aim of this work is the study of power losses at idle in the drives of wood-cutting milling machines. To study the power costs for idling, it is necessary to identify ways of reducing them. The article presents the results of experimental investigations of the power value of idling in the drive cutting industrial milling machine FSA with the lower position of the spindle. The calculated power consumed for idling, and the dependence character of the actuator speed on the change of power losses are presented. The necessity of raising belt drive even for controlled drives in the main movement mechanisms of woodworking machines is shown. The possibility of using formulas for calculation of power losses at idle received for metalworking machine tools are considered.

**Key words:** machine, mechanism, idle, power, dependence, research.

**Введение.** Современные дереворежущие станки являются высокопроизводительным оборудованием. Рост производительности деревообрабатывающих станков, а также высокие требования к качеству обработки обуславливают увеличение частоты вращения инструмента, что ведет к повышению затрат мощности, связанных с вредными сопротивлениями. Особенно это актуально для станков фрезерной группы, частоты вращения шпинделей которых достигают наибольших значений, по сравнению с другими типами деревообрабатывающего оборудования.

Мощность двигателя привода резания деревообрабатывающего станка расходуется на создание рабочих или полезных нагрузок, в частности на процесс резания заготовки, и преодоление различных вредных сопротивлений.

Мощность, связанная с вредными сопротивлениями, затрачивается на [1]:

– работу сил трения в опорах, возникающих под действием:

а) веса движущихся частей;

б) предварительного натяжения ременной передачи и натяга подшипников;

в) центробежных сил, возникающих из-за наличия дисбаланса быстровращающихся частей;  
 г) динамических нагрузок, появляющихся из-за ошибок изготовления и монтажа элементов привода;

– работу сил трения, возникающих в уплотнениях подшипников и других элементов;  
 – аэродинамические потери.

Затраты мощности в приводе на вредные сопротивления можно разделить на мощность холостого хода и нагрузочную мощность.

Нагрузочная мощность – переменные потери, вызываемые полезной нагрузкой (силами резания) и примерно ей пропорциональные. Когда начинается обработка заготовки, появляется мощность резания. При этом увеличиваются нагрузки в опорах, силы трения в опорах, и следовательно, затраты мощности на вредные сопротивления. Это увеличение мощности и является нагрузочной мощностью.

Мощность холостого хода – это постоянные потери, не зависящие от полезной нагрузки. Это мощность, затрачиваемая источником энергии на вращение привода при отсутствии полезной нагрузки.

Для того чтобы определить целесообразность проведения и направление мероприятий по снижению потерь мощности на холостой ход в приводах резания дереворежущих фрезерных станков, необходимо знать величину этих потерь и факторы, влияющие на них.

Как правило, привод механизма включает электродвигатель, повышающую ременную передачу и шпиндель, на котором крепится режущий инструмент. Таким образом, потери мощности  $P$ , кВт, на холостой ход в приводе

$$P = P_{\text{дв}} + P_{\text{рем}} + P_{\text{шп}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{дв}}$  – потери мощности в электродвигателе на холостом ходу, кВт;  $P_{\text{рем}}$  – потери мощности в ременной передаче на холостом ходу, кВт;  $P_{\text{шп}}$  – потери мощности в шпинделе станка на холостом ходу, кВт.

Для определения затрат мощности на холостой ход шпинделя в литературе [1] приведена следующая формула:

$$P_{\text{шп}} = k_m \cdot k_{\text{шп}} \cdot \frac{d_{\text{шп}}}{10^6} \cdot n_{\text{шп}}, \quad (2)$$

где  $k_m$  – коэффициент, характеризующий конструкцию элементов привода и качество изготовления. Коэффициент  $k_m$  принимается от 3 до 6. Меньшие значения устанавливаются для простых, а большие – для более сложных схем;  $n_{\text{шп}}$  – частота вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $d_{\text{шп}}$  – диаметр шпинделя в передней опоре, мм;  $k_{\text{шп}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительные

потери в шпиндельном узле. При использовании подшипников качения принимается 1,5.

Потери мощности на холостой ход в ременных передачах определяются по формуле [1, 2]

$$P_{\text{рем}} = C_{\text{ор}} \cdot V_p \cdot \left( \frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} \right), \quad (3)$$

где  $V_p$  – скорость ремня, м/с;  $d_1, d_2$  – диаметры ведущего и ведомого шкивов соответственно, мм;  $C_{\text{ор}}$  – коэффициент, зависящий от скорости ремня, параметров и типа передачи.

Значение коэффициента  $C_{\text{ор}}$  для клиноременных передач определяется по формуле [1]

$$C_{\text{ор}} = k_1 + k_2 \cdot V_p, \quad (4)$$

где  $k_1, k_2$  – справочные коэффициенты, зависящие от профиля сечения ремня.

Представленные формулы (2), (3) получены для металлорежущих станков, поэтому вызывает вопрос правомерность их применения для высокоскоростных приводов резания дереворежущих фрезерных станков.

**Основная часть.** Для проведения экспериментальных исследований использован промышленный фрезерный станок с нижним расположением шпинделя ФСА.

Для регулирования частоты вращения привода резания использовался частотный преобразователь Toshiba vfs9. Частота питающего тока менялась от 10 Гц с шагом 5 Гц. Частота вращения электродвигателя контролировалась механическим тахометром.

Еще одним переменным фактором принят диаметр ведущего шкива. Диаметры ведущего шкива ременной передачи  $d_1$  были приняты 90, 140, 200, 250 мм по ГОСТ 20889-88 [3]. Профиль клинового ремня А. Диаметр ведомого шкива ременной передачи  $d_2 = 90$  мм.

Потери мощности на холостой ход фиксировались ваттметром ЦП8506/40 с цифровой индикацией.

Постоянство натяжения ремня привода резания станка ФСА контролировалось с помощью штангенциркуля и динамометра (рис. 1). К середине длины ветви ремня прикладывалась поперечная нагрузка 25 Н, величина которой контролировалась динамометром. Стрела прогиба замерялась штангенциркулем.

Для разных передаточных отношений ременной передачи привода резания построены графические зависимости  $P = f(n_{\text{дв}})$  (рис. 2–5). На этих же графиках для сопоставления показаны результаты теоретического расчета по формулам (2), (3) при  $k_m = 3$ .

Графики на рис. 5 построены для меньших частот в связи с конструктивными ограничениями по частоте вращения шпинделя.

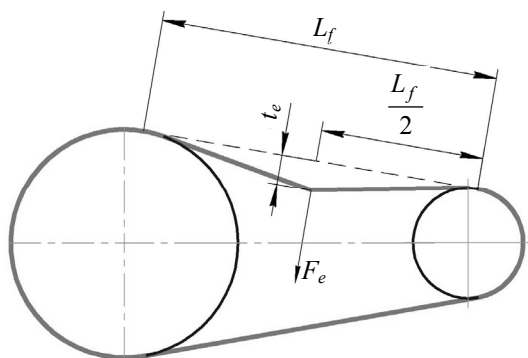
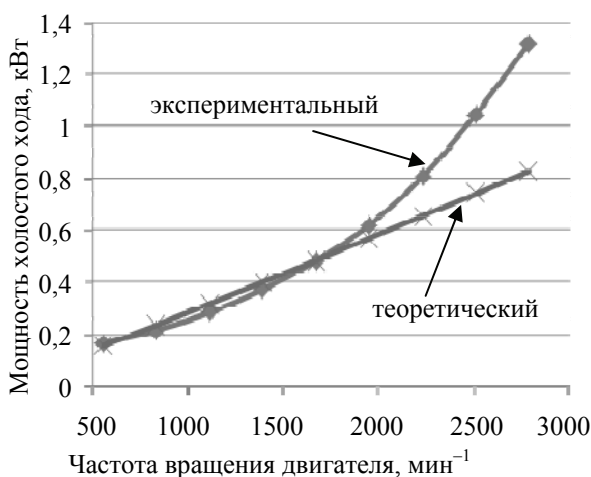
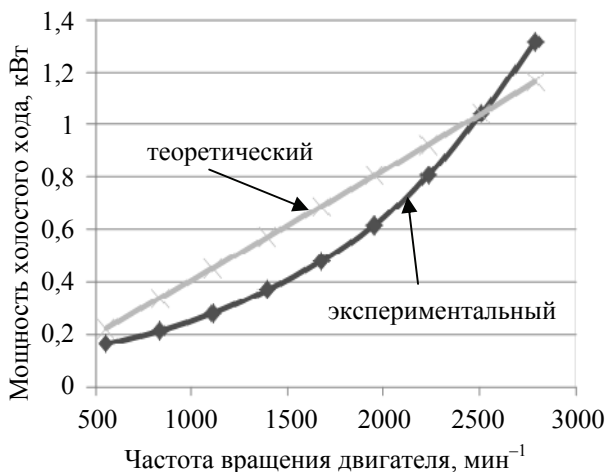
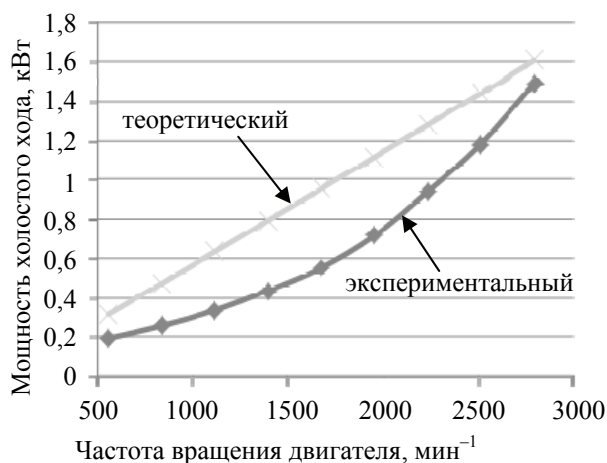
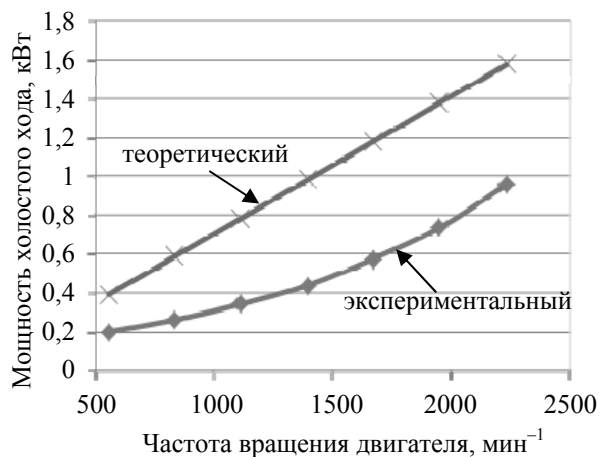


Рис. 1. Схема контроля натяжения ремня

Рис. 2. Зависимость мощности холостого хода от частоты вращения двигателя при  $d_1 = 90$ Рис. 3. Зависимость мощности холостого хода от частоты вращения двигателя при  $d_1 = 140$ 

Очевидно, что даже без учета потерь в самом электродвигателе, мощность, рассчитанная по формулам (2), (3) в ряде случаев превышает фактически замеренную. Особенно это характерно при больших передаточных отношениях ремненной передачи, т. е. при высоких частотах вращения шпинделя фрезерного станка. Так, по графику 5 разность значений достигает 65%.

Рис. 4. Зависимость мощности холостого хода от частоты вращения двигателя при  $d_1 = 200$ Рис. 5. Зависимость мощности холостого хода от частоты вращения двигателя при  $d_1 = 250$ 

Следует отметить, что согласно исследованиям [4] потери мощности на холостой ход в современных станках еще меньше, чем полученные для фрезерного станка ФСА.

Таким образом, формулы, полученные для металлорежущих станков, не корректно применять для расчета потерь мощности на холостой ход в приводах резания фрезерных деревообрабатывающих станков.

При малых частотах вращения шпинделя станка мощность холостого хода для разных передаточных отношений приблизительно одинакова и составляет  $\approx 0,2$  кВт. С ростом частоты вращения затраты мощности на холостой ход растут.

Полученные графики с высокой степенью точности описываются экспоненциальной зависимостью (уравнения и коэффициенты достоверности аппроксимации указаны на рис. 6).

При этом, очевидно, рост потерь мощности на холостой ход в приводе с большим передаточным отношением происходит менее интенсивно, чем в приводах с малым передаточным отношением.

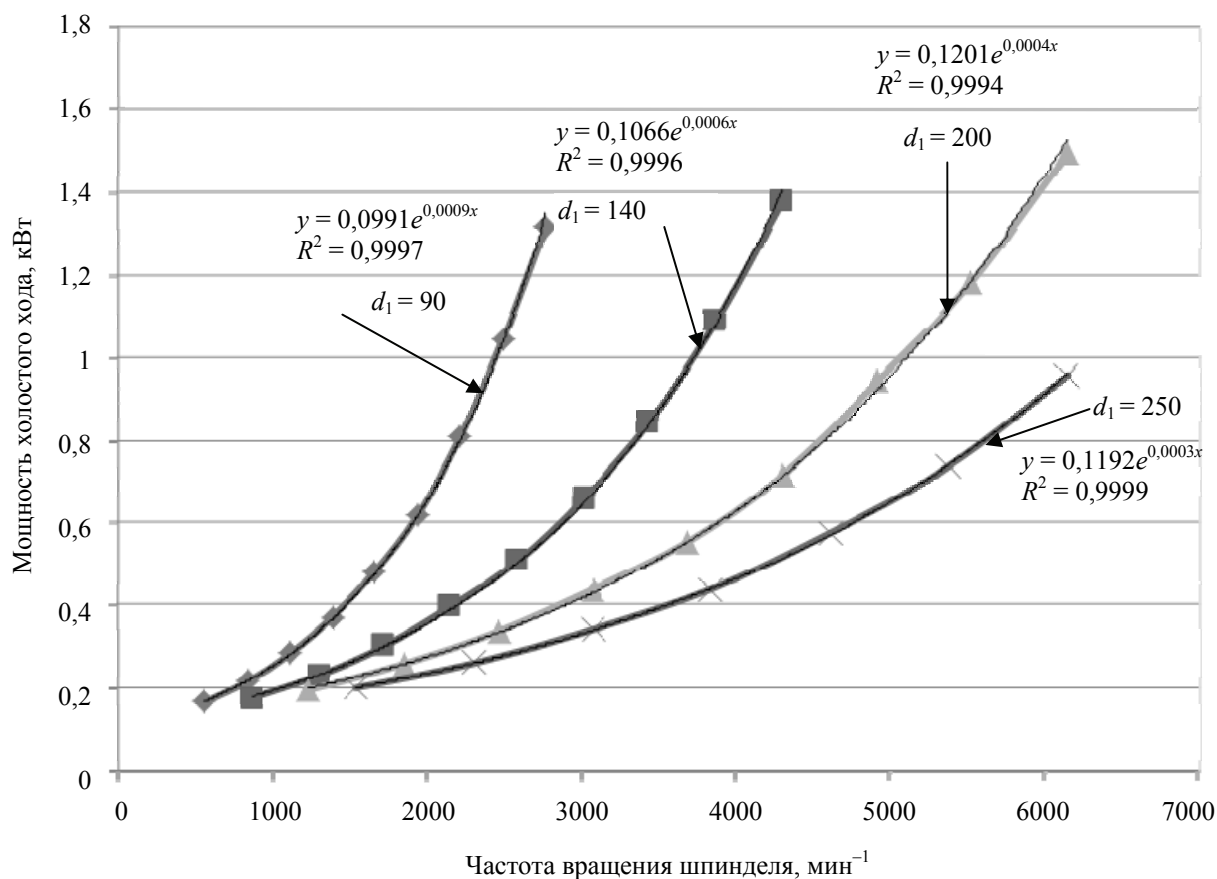


Рис. 6. Зависимость мощности холостого хода от частоты вращения шпинделя

С ростом частоты вращения шпинделя фрезерного станка ФСА разбежка значений холостого хода становится более существенной. Так, при частоте вращения шпинделя  $n \approx 2800 \text{ мин}^{-1}$  (см рис. 6) потери мощности на холостой ход при диаметре ведущего шкива  $d_1 = 250 \text{ мм}$  составляют  $P = 0,32 \text{ кВт}$ , а при диаметре ведущего шкива  $d_1 = 90 \text{ мм}$  – достигают  $P = 1,3 \text{ кВт}$ .

**Заключение.** По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

– мощность холостого хода растет с увеличением частоты вращения привода по экспоненциальной зависимости;

– применение повышающих ременных передач в регулируемых приводах позволяет снизить потери мощности на холостой ход;

– экспериментально полученные значения мощности холостого хода на фрезерном деревообрабатывающем станке ФСА отличаются от значений, рассчитанных по формулам для металлорежущего оборудования (в исследованном диапазоне разность значений составила до  $0,5 \text{ кВт}$ ).

### Литература

1. Кучер И. М. Металлорежущие станки. Основы конструирования и расчета. Л.: Машиностроение, 1975. 720 с.
2. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов: учеб. пособие для вузов. Минск: Высшая школа, 1991. 382 с.
3. Шкивы для приводных клиновых ремней нормальных сечений. Общие технические условия: ГОСТ 20889-88. Введ. 17.01.1992. Минск: Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, 1989. 20 с.
4. Гриневич С. А., Гаранин В. Н. Исследование затрат мощности на холостой ход в приводе механизма резания станка Unimat 23 EL // Международный Евразийский Симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». Екатеринбург, 2011. С. 279–282.

### References

1. Kucher I. M. *Metallorezhushchie stanki. Osnovy konstruirovaniya i rascheta* [Metalcutting machines. Fundamentals of design and calculation]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1975. 720 p.

2. Kochergin A. I. *Konstruirovaniye i raschet metallovezhushchikh stankov i stanochnykh kompleksov: ucheb. posobie dlya vuzov* [Design and calculation of metalcutting machine tools and machine tool systems. Textbook for universities]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 1991. 382 p.

3. GOST 20889-88. Pulleys for driving V-belts normal sections. General specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 1992. 20 p. (In Russian).

4. Grinevich S. A., Garanin V. N. The research of power costs for idling in the drive mechanism of the cutting machine Unimat 23 EL, *Mezhdunarodnyy evraziyskiy simpozium "Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka"* [International eurasian symposium "Woodworking. Technologies. Equipment. Management of the XXI century"]. Ekaterinburg, 2011, pp. 279–282 (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Гриневич Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Grinevich@belstu.by

**Горчанин Артем Игоревич** – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: salyt16@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Grinevich Sergey Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Grinevich@belstu.by

**Gorchanin Artem Igorevich** – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: salyt16@mail.ru

*Поступила 15.02.2016*