

УДК 004.3; 519.6

Анализ лесопильного станка с использованием виртуальной параметрической модели

Гаврюшин С. С.¹, Блохин М. А.¹,

[*phungvanbinh.vp@gmail.com](mailto:phungvanbinh.vp@gmail.com)

Фунг Б. В.^{1,*}

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Статья посвящена 3D-моделированию лесопильного оборудования с круговым поступательным движением пильных полотен в среде современной комплексной программы NX Unigraphics. Детали лесопильного оборудования моделируются по реальным размерам и материалам и имеют точные массовые характеристики. Кинематическое движение пильного блока наглядно иллюстрирует принцип работы пильного станка. Основные детали моделируются параметрически, это позволяет рассматривать семейство однотипных исполнений конструкции станка. Полученные результаты могут использоваться для динамического анализа многопильного станка, расчета рабочих деталей по прочности, а также для производства сложных деталей с помощью станком с числовым программным управлением.

Ключевые слова: лесопильное оборудование, деревообработка, многопильный станок, коленчатый станок, параметрическая модель, NX Unigraphics

Введение

В статье излагается методика виртуального моделирования нового типа лесопильного оборудования - станка с круговым поступательным движением пильных полотен, так называемого, «коленчатого» станка (рис. 1). Обсуждаемое оборудование характеризуется малой металлоёмкостью, простотой обслуживания, низкими энергозатратами и предназначено для процесса распиловки, роспуска пиловочника на доски, изготовления паркетных досок и ламелей, а также для распиловки ценных и редких пород деревьев. Рассматривается задача динамической балансировки пильного блока (пильной рамки) и отстройки резонансных частот пильных полотен за пределы рабочей зоны,

Повышение эффективности работы деревообрабатывающей промышленности теснейшим образом связано с развитием комплекса машин, обеспечивающих реализацию основных этапов технологического процесса производства. В настоящее время в России большая часть пиломатериалов производится на лесопильных рамах с возвратно-

поступательным движением пильных полотен и ленточнопильных станках. Широкое применение находят также круглопильные станки. Каждая из трех упомянутых выше конструктивных схем имеет свои достоинства и недостатки. Лесопильным рамам с возвратно-поступательным движением пильной рамки свойственны невысокое качество обработанной поверхности, значительные затраты электроэнергии, необходимость в стационарном фундаменте. К недостаткам круглопильного оборудования следует отнести сложность изготовления и дороговизну пил большого диаметра, поэтому практика применения круглопильных станков сводится, в основном, к распиловке бревен с диаметром до 200...300 мм. Ленточные пилы характеризуются малой производительностью, малым ресурсом работы полотна, что с учетом практического отсутствия высококачественных отечественных ленточных пил приводит к необходимости импорта.

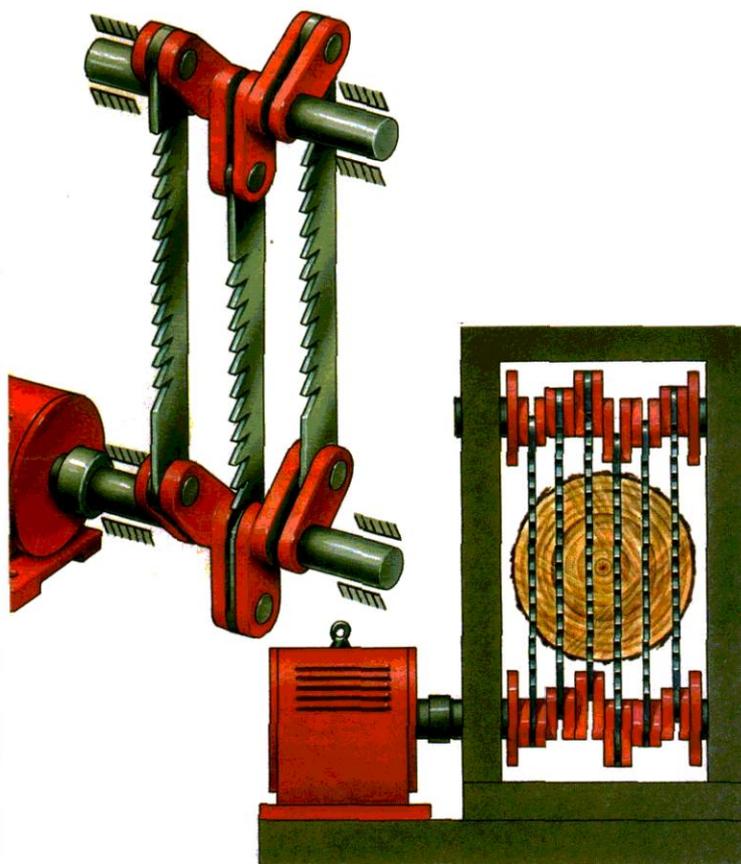


Рис 1. Принципиальная схема «коленчатого» станка для распиловки бревен и бруса

В силу вышеизложенного, важной и актуальной задачей является разработка новых технических решений в области создания распиловочных станков, сохраняющих преимущества и исключающих недостатки существующего оборудования. С целью решения этой

научно-технической проблемы предлагается принципиально новый вид деревообрабатывающего оборудования – многопильный станок с круговым поступательным движением пильных полотен и его модификации (станок «Шершень»). Простота и надёжность предлагаемой конструкции позволяет повысить основные показатели, среди которых следует особо выделить: высокое качество обработанных поверхностей; снижение энергопотребления; относительно малый вес станка; динамическую сбалансированность основных узлов; повышенную мобильность оборудования; способность вести распиловку тонкомерного леса [4], [5] .

Вместе с тем, до настоящего времени создание этого оборудования не реализовано в силу сложности и наукоёмкости поставленной задачи. Попытки создания конструкции без привлечения современных методов расчета и проектирования заканчивались неудачно. Особенно наглядно это выявилось при анализе динамики, устойчивости и прочности пильных полотен, подвижных узлов, а также некоторых других деталей и агрегатов станка. Современные технологии проектирования основаны на использовании программных продуктов, позволяющих существенно сэкономить время и решить задачу синтеза изделия с заданными характеристиками. В работе использовался пакет Unigraphics NX и ANSYS. В рамках виртуальной модели, для нахождения рациональных параметров станка использовалась идея многокритериальной оптимизации.

Виртуальная параметрическая модель станка «Шершень»

Виртуальная модель станка создавалась в среде программного комплекса Unigraphics NX с целью решения следующих задач:

- моделирования процесса резания заготовки пильным полотном при его круговом поступательном движении в зависимости от скорости подачи заготовки и радиуса кругового вращения;
- исследования поведения пильного полотна в рабочем режиме и в режиме холостого хода;
- динамической балансировки пильного модуля;

Важнейшим агрегатом «коленчатого» станка является пильный блок. Принципиальная и конструктивная схема пильного блока «коленчатого» станка представлена на рис. 2. Модель пильного блока «коленчатого» станка, выполненная в программном комплексе NX представлена на рис. 3.

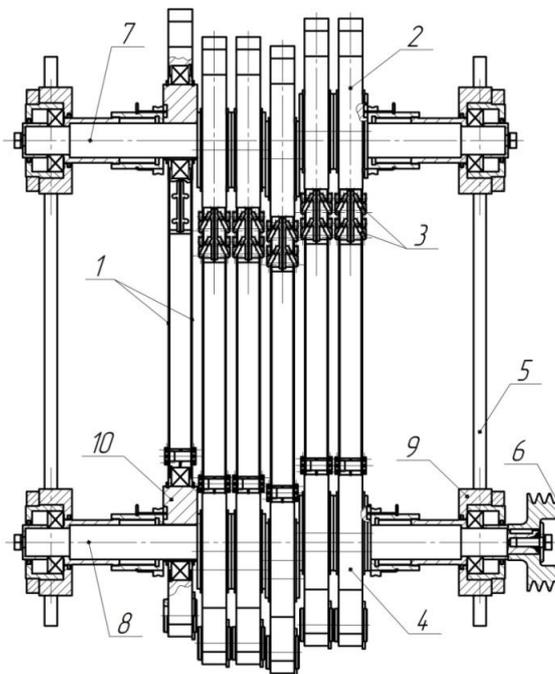
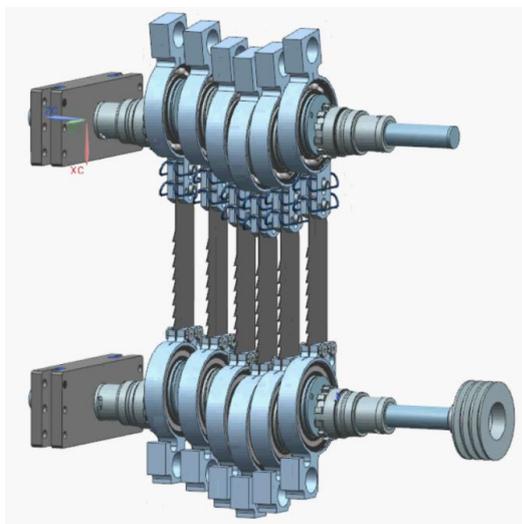
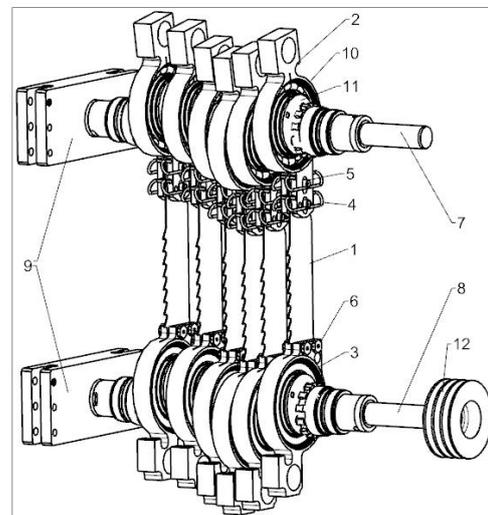


Рис. 2. Пильный блок станка модели М2001

1 – пильные полотна, 2 – верхний шарнирный узел с элементами подвижной фиксации пильного полотна и корректирующей массой, 3 – упругие элементы, 4 – нижний шарнирный узел с элементами крепления пильного полотна и корректирующей массой, 5 – боковая стойка, 6 – шкив нижнего вала пильного блока, 7 – верхний вал, 8 – нижний вал, 9 – подшипниковые опоры валов, 10 – эксцентрик



a)



b)

Рис. 3. а) Виртуальная параметрическая модель станка «Шершень» в среде программного комплекса NX и б) Основные детали пильного блока

1 – пильное полотно, 2 – верхний шарнирный узел, 3 – нижний шарнирный узел, 4 – скоба (упругий элемент), 5 – палец, 6 – палец нижний, 7 – вал верхний, 8 – вал нижний, 9 – корпус плавающий (Подшипниковые опоры валов), 10 – шариковый подшипник, 11 – волчок (эксцентрик), 12 – шкив нижнего вала

Различные фазы движения пильного модуля представлены на рис. 4.

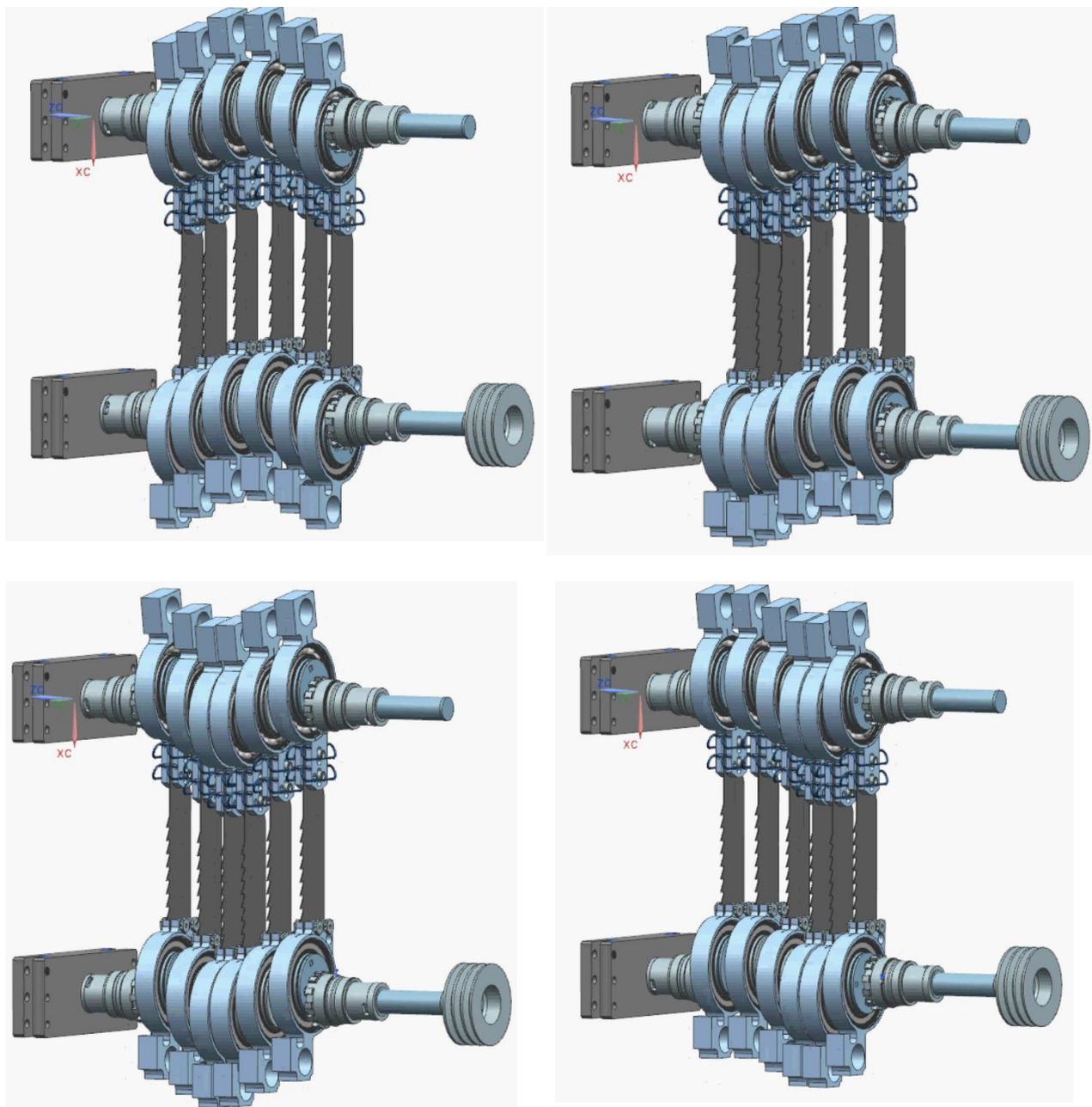


Рис. 4 . Фазы движения пильного блока

Главной структурной единицей пильного блока является пильный модуль (рис. 5).

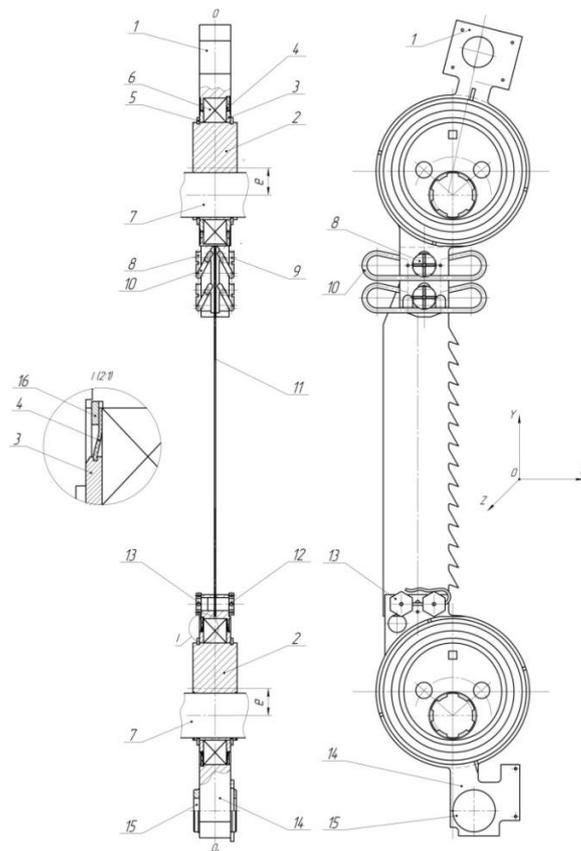


Рис. 5. Конструкция пыльного модуля станка «Шершень» модели М2005.

1 - верхний шарнирный узел, 2 - эксцентрик, 3 - кольцо, 4 - кольцо пыльник (из фторопласта), 5 - пружинное кольцо (запорное), 6-радиально-упорный подшипник, 7 - вал шлицевой, 8, 9 - крепёж верхнего шарнирного узла, 10 - упругий элемент (скоба), 11 - пыльное полотно, 12, 13 - крепёж нижнего шарнирного узла, 14 - нижний шарнирный узел, 15 -устройство баланса (корректирующая масса) со шпилькой, 16 - пружинное кольцо (запорное)

Эффективности проектирования элементов и узлов станка, в среде программного комплекса NX иллюстрируется примером расчёта долговечности нижнего вала пыльного блока (рис. 6).



Рис. 6. Модель нижнего вала пыльного блока вала станка «Шершень» (М2005)

Расчетная схема нижнего вала станка модели М2005 представлена рис. 7.

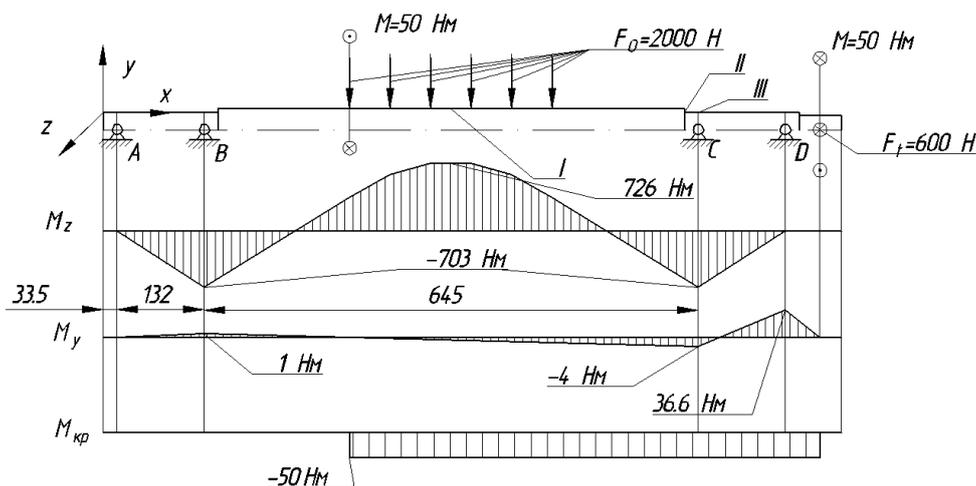


Рис. 7. Расчетная схема нагрузки нижнего вала станка модели M2005, эпюры силовых факторов

F_0 – сила натяжения пильного полотна (полотен). M – крутящий момент на шкиве нижнего вала. F_t – сила натяжения ремённой передачи, точки А, В, С, D – места установки радиальных подшипников опорных узлов

Расчет напряженно-деформированного состояния вала проводился с использованием программных комплексов ANSYS и NX. По результатам расчета определялись значения эквивалентных напряжений в зонах концентраторов напряжений. В качестве целевой функции максимизировался ресурс вала (число циклов), определяемое по стандартным формулам расчета на долговечность. В качестве управляющих параметров варьировались расстояния между внутренними опорными подшипниками (рис. 6: В и С). Результаты расчетов представлены в таблице 1 и на рис. 8.

Таблица 1. Зависимость ресурса вала от изменения расстояния между внутренними опорными подшипниками

Вариант	Р-р между В и С, мм	$R_A, Н$	$R_B, Н$	$R_C, Н$	$R_D, Н$	Ресурс (число циклов)
1	646	6731,21	12731,02	12737,10	6803,09	$9,163 \times 10^7$
2	596	4664,82	10665,03	10670,17	4754,85	$1,722 \times 10^9$
3	546	3292,82	9292,84	9297,35	3407,4	$4,75 \times 10^{10}$

Долговечность вала при найденном рациональном расстоянии между внутренними опорными подшипниками и соответствующем малом изменении величины просвета пильной рамки увеличилась в приблизительно в 30 раз.

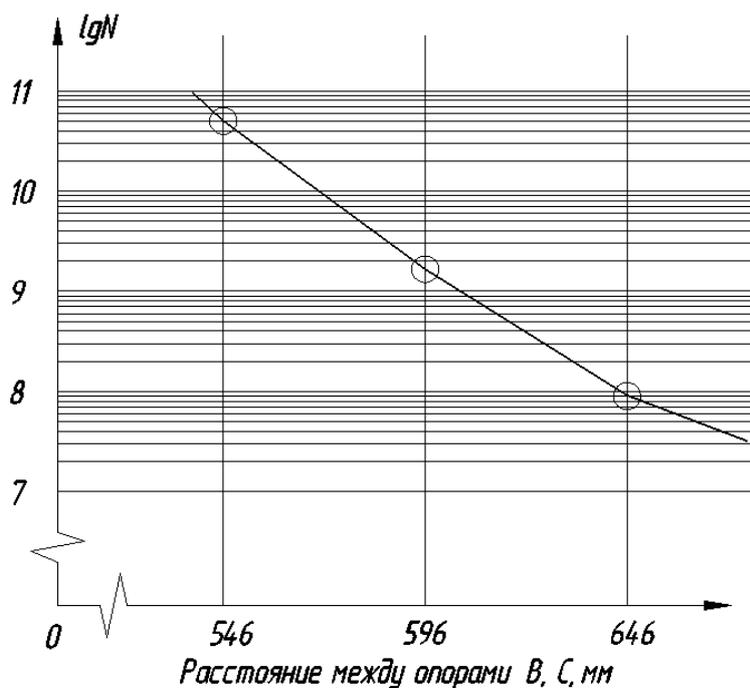


Рис. 8. Логарифмическая зависимость ресурса вала N от размера между опорами валов

Параметрическая оптимизация позволила решить задачу отстройки резонансных колебаний пыльных полотен за пределы рабочей зоны. Исследовалось влияние смещения величины эксцентриситета растяжения полотна по его длине на спектр собственных частот. Расчётная модель пыльного полотна с рабочей длиной 350 мм представлена на рис. 9.

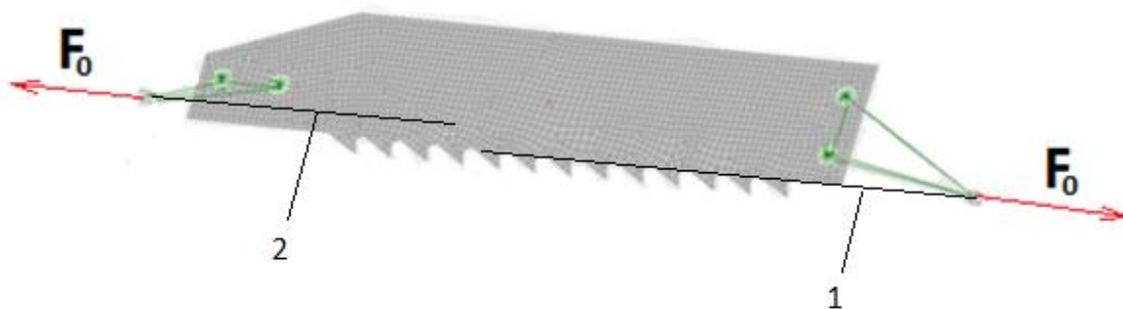


Рис. 9. Расчётная модель пыльного полотна с рабочей длиной 350 мм

В результате численного анализа было принято решение о введении в пыльном модуле «дифференцированного» эксцентриситета растяжения пыльного полотна. То есть точка приложения силы растяжения нижней части полотна (на рис. 9 справа) находится на линии проходящей через межзубовые впадины (линия 1). При этом нижняя часть полотна растягивается с эксцентриситетом, примерно равным 50% ширины полотна. Точка при-

ложения силы растяжения для верхней части полотна (на рис. 9 слева) находится на линии, отстоящей от срединной на расстоянии 20...30% ширины полотна (линии 2).

Разработанная универсальная схема пильного модуля с дифференцированным эксцентриситетом растяжения пильного полотна изменяет его напряжённое состояние и увеличивает резонансную частоту более чем на 25%. В итоге станок может работать при более высокой частоте вращения валов, что увеличивает производительность станка.

Основные сравнительные технические характеристики станка «Шершень» модификации М2001, М2005 представлены в таблице 2 и сопоставлены с лесорамами Р63-4Б и РМ-50.

Таблица 2. Основные сравнительные технические характеристики станков моделей М2001, М2005, Р63-4Б, РМ-50

№ п/п	Параметры	М2001, М2005	Р63-4Б	РМ-50
1	Ширина просвета пильной рамки, мм	630... 570	650	450
2	Максимальная толщина бруса (бревна), мм	175x 560; 275x560	560	240
3	Толщина полотна, мм	1,47 -1,6	2,0 –3,0	1,2-1,47
4	Число пил (полотен), шт	6 - 12 - 18	3 – 12	до 19
5	Количество зубьев с твёрдым сплавом на одном полотне:	8 (брус 175 мм) 12 (брус 275мм)	Не менее 30	Не менее 15
6	Время работы между переза-точками, час	40 - 60	4 - 6	Данных нет
7	Количество режущих импульсов в минуту	2500 – 2800	285	265
8	Подача бревна, бруса, м/мин	0,1 – 2,0	1 – 10	0,42-1,6
9	Кол-во электродвигателей, шт	2	4	2 + компрессор
10	Общая установленная мощность электродвигателей, кВт	8,75...11,75.... ...15,75	43,0 - 52,4	11-15
11	Габариты, м	1,6x1,0x1,1	2,18x2,55x3,0	2,42x1,2x2,02
12	Масса станка, лесорама), кг	До 900	3500	1900
13	Наличие фундамента	Без фундамента	Обязателен	Лёгкий

Выводы

Разработанная виртуальная модель лесопильного оборудования, созданная в среде программного комплекса NX Unigraphics позволяет проанализировать кинематику работы пильного станка.

Параметризация основных деталей предоставляет возможности для проведения расчета семейства однотипных конструкций с целью сравнения и выбора рациональных параметров конструкции.

Приведенные примеры расчёта ресурса нижнего вала и анализ отстройки резонансных колебаний пильных полотен иллюстрируют эффективность предложенной методики.

Обсуждаемая 3D – параметрическая модель может быть использована для динамического и балансировочного анализа многопильного станка, а также при подготовке программ изготовления деталей на станках с числовым программным управлением.

Список литературы

1. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М.: ДКМ Пресс, 2011. 332 с.
2. Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осюк В.А. NX для конструктора-машиностроителя. М.: ДКМ Пресс, 2010. 504 с.
3. Гончаров П.С., Артамонов И. А., Халитов Т.Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДКМ Пресс, 2012. 504 с.
4. Блохин М.А. Расчёт и проектирование многопильного станка с круговым поступательным движением полосовых пильных полотен: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 151 с.
5. Прокопов В.С. Разработка методики численного анализа динамических характеристик многопильного станка с круговым поступательным движением дереворежущих полотен: дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 205 с.
6. Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., Борискин О.Ф. Численный анализ элементов конструкций машин и приборов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 479 с.
7. Гаврюшин С.С., Блохин М.А., Прокопов В.С. Численное исследование динамического поведения базового элемента и конструкции многопильного станка с круговым поступательным движением дереворежущих полотен // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 10. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/234986.html> (дата обращения 01.11.2014).
8. Гаврюшин С.С., Прокопов В.С., Блохин М.А. Разработка методики численного анализа динамических характеристик многопильного станка с круговым поступательным

- движением дереворежущих полотен // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2010. № 4. С. 108-118.
9. Прокопов В.С. Исследование динамического поведения многопильного станка с круговым поступательным движением дереворежущих полотен // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2011. № 1. С. 14-17.
 10. Блохин М.А., Иваньков В.П., Никитин М.И. Разработка высокопроизводительного энергосберегающего технологического модуля для распиловки древесины: отчёт по ОКР / Минпромнауки РФ. М., 2003. 54 с.
 11. Гаврюшин С.С., Евгеньев Г.Б. Многокритериальная оптимизация в жизненном цикле изделий // Информационные технологии. 2014. № 2. С. 37-42.
 12. Кондратюк А.А., Шилько В.К. Оценка напряженного состояния ленточных пил // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307, № 2. С. 138-142.
 13. McGehee J.W. Reciprocating gang saw [Многорядная пила с возвратно-поступательным движением полотна]: пат № 3929048 США. Заявл. 11.11.1974; Оpubл. 30.12.1975.

Analysis Sawmill Machine Using a Virtual Parametric Model

S.S. Gavryushin¹, M.A. Blohin¹, B.V. Phung^{1,*}

[*phungvanbinh.vp@gmail.com](mailto:phungvanbinh.vp@gmail.com)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: woodworking, multi-trip bench, cranked machine, parametric model, NX Unigraphics

Currently, the majority of Russian sawn is produced using sawmill equipment with reciprocating saw blades, band saw machines, and circular saws. Each of the three mentioned constructive schemes has its advantages and disadvantages. This paper considers a fundamentally new type of woodworking equipment, i.e. a multiple saw with a circular reciprocating saw blades and its modifications.

The aim of this work is creation of a virtual machine model using modern information technologies. 3D-modeling sawmill equipment with circular reciprocating saw blades is produced in the environment of modern software system NX Unigraphics. Results of research allow us to design a virtual parametric model of sawing machine. The sawmill equipment details are simulated in real size, with the physical mechanical properties of real materials taken into consideration, thereby allowing us to determine the exact mass characteristics. Kinematic motion of machine saw block gives a comprehensive view of the operational principle of saw machine. Obtained results can be used for dynamic analysis of multi-trip machine characteristics, calculating the strength, rigidity and durability of the working parts. The simulation results are presented in a form that lets you connect the CAM system for further processing on CNC-machine tools.

The paper consiers a process of parametric modeling machine "Shershen" as an example. Characteristics of designed structure are compared with the woodworking equipment R63-4B and PM-50.

Reference

1. Danilov Yu., Artamonov I. *Prakticheskoe ispol'zovanie NX* [Practical use of NX]. Moscow, DKM Press, 2011. 332 p. (in Russian).
2. Goncharov P.S., El'tsov M.Yu., Korshikov S.B., Laptev I.V., Osiyuk V.A. *NX dlya konstruktora-mashinostroitelya* [NX for constructor - machine builder]. Moscow, DKM Press, 2010. 504 p. (in Russian).

3. Goncharov P.S., Artamonov I. A., Khalitov T.F., Denisikhin S. V., Sotnik D. E. *NX Advanced Simulation. Inzhenernyy analiz* [NX Advanced Simulation. Engineering analysis]. Moscow, DKM Press, 2012. 504 p. (in Russian).
4. Blokhin M.A. *Raschet i proektirovanie mnogopil'nogo stanka s krugovym postupatel'nyim dvizheniem polosovykh pil'nykh poloten. Kand. diss.* [Calculation and design of multisaw machine tool with a circular translational motion of band saw blades. Cand. diss.]. Moscow, 2005. 151 p. (In Russian, unpublished).
5. Prokopov V.S. *Razrabotka metodiki chislennogo analiza dinamicheskikh kharakteristik mnogopil'nogo stanka s krugovym postupatel'nyim dvizheniem derevorezhushchikh poloten. Kand. diss.* [Development of technique for numerical analysis of dynamical characteristics of multisaw machine with circular translational motion of wood-cutting blades. Cand. diss.]. Moscow, 2011. 205 p. (In Russian, unpublished).
6. Gavryushin S.S., Baryshnikova O.O., Boriskin O.F. *Chislennyy analiz elementov konstruktsiy mashin i priborov* [Numerical analysis of structural elements of machines and devices]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 479 p. (in Russian).
7. Gavryushin S.S., Blokhin M.A., Prokopov V.S. Numerical investigation of execution behavior of the reference member and multirip bench with circular translating motion of saw blades. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 10. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/234986.html> , accessed 01.11.2014. (in Russian).
8. Gavryushin S.S., Prokopov V.S., Blokhin M.A. Development of Technique for Numerical Analysis of Dynamical Characteristics of Multisaw Machine with Circular Translational Motion of Wood-Cutting Blades. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2010, no. 4, pp. 108-118. (in Russian).
9. Prokopov V.S. The study of dynamic behavior of machine with multi-rip circular saw blades for wood processing. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 1, pp. 14-17. (in Russian).
10. Blokhin M.A., Ivan'kov V.P., Nikitin M.I. *Razrabotka vysokoproizvoditel'nogo energosberegayushchego tekhnologicheskogo modulya dlya raspilovki drevesiny: otchet po OKR* [Development of high-performance energy-saving technological module for cutting wood: report on scientific research works]. Moscow, Minpromnauki RF, 2003. 54 p. (In Russian, unpublished).
11. Gavryushin S.S., Evgenev G.B. Multicriteria Optimization in the Life Cycle of Products. *Informatsionnye tekhnologii = Information technologies*, 2014, no. 2, pp. 37-42. (in Russian).
12. Kondratyuk A.A., Shil'ko V.K. Assessment of stress state of band saws. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, vol. 307, no. 2, pp. 138-142. (in Russian).
13. McGehee J.W. *Reciprocating gang saw*. Patent US no. 3929048, 1975.