

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОРПУСА БУРАВА ВОЗРАСТНОГО НА ПРОЧНОСТЬ

Шегельман И.Р., Суханов Ю.В., Васильев А.С., Ключев Г.В., Лукашевич В.М.

*Карельский научно-исследовательский институт лесопромышленного комплекса (КарНИИЛПК),
Петрозаводск, e-mail: lvm-dov@mail.ru*

Проведен анализ зависимости толщины стенки бурава возрастного от материала, из которого он изготовлен. Предложена методика расчета бурава возрастного на прочность. При прочностном расчете были учтены: анизотропия древесины, возможные наклоны и колебания бурава возрастного при вкручивании в древесину, пороки строения ствола дерева. Прочностной расчет в целях точности получаемых результатов велся по нескольким теориям прочности: III (наибольших касательных напряжений) и IV (энергии формоизменения) теориями прочности для стержней из сталей, и дополнительно по V (теория Мора) теории для стержней из чугуна. Предложены материалы, которые можно использовать для изготовления бурава возрастного. Расчеты показали, что определяющим фактором при расчете бурава возрастного на прочность являются не только усилия резания, но и напряжения изгиба. Данное обстоятельство говорит о целесообразности использования буровых возрастных совместно со специальными направляющими устройствами, что приведет к уменьшению наружного диаметра возрастных буров и тем самым позволит уменьшить вред, наносимый дереву при взятии керна, а также использовать более дешевые материалы с более низкими прочностными характеристиками.

Ключевые слова: буров возрастной, материал, методика, теория прочности, толщина стенки

METHOD OF STRENGTH CALCULATION OF AN INCREMENT BORER BODY

Shegelman I.R., Sukhanov Y.V., Vasilev A.S., Klyuev G.V., Lukashevich V.M.

Karelian scientific Research Institute timber industry, Petrozavodsk, e-mail: lvm-dov@mail.ru

The authors analyzed the dependence of thickness of an increment borer wall on the material that an increment borer is made of. They suggested a method of strength calculation of an increment borer. The following factors were considered with strength calculation: anisotropy of wood, possible inclination and fluctuation of an increment borer while twisting-in into wood, flaws in the structure of a tree trunk. In order to get accurate results, strength calculation was made according to several strength theories: III (the greatest shearing stress) and IV (distortion energy) strength theories for bars made of steel, and also according to V (Mohr theory) theory for bars made of cast iron. The authors suggested the materials that can be used for manufacturing of an increment borer. The calculation showed that the determining factor for strength calculation of an increment borer is not only cutting force, but also bending stress. This circumstance proves reasonability of using increment borers combined with special directing devices, which will result in decrease of external diameter of increment borers and thereby allow reducing the harm, made to a tree while taking the core. It will also allow using cheaper materials with lower strength properties.

Keywords: increment borer, material, method, strength theory, wall thickness

В Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) интенсифицированы научно-исследовательские работы в области развития рационального природопользования. Одним из направлений работ является совершенствование конструкции бурава возрастного – инструмента, предназначенного для взятия из ствола дерева цилиндрического образца древесины (керны) диаметром 4...6 мм для определения возраста по годичным слоям [6].

Постановка задачи

В результате проведенного исследования, результаты которого изложены в работе [2], был найден ряд технических решений [7 и др.] по совершенствованию данного инструмента. По этим техническим решениям был подан ряд заявок в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» на получение патентов на полезные модели. По нескольким из них уже получены положительные решения на выдачу патентов на полезные модели – это: заявка

№ 2013118815 «Бурав возрастной для извлечения керна древесины» от 23.04.2013, заявка № 2013121070 «Бурав для взятия керна древесины» от 07.05.2013, заявка № 2013125828 «Направляющее устройство для бурава» от 04.06.2013.

Для того чтобы была возможность создать усовершенствованную конструкцию бурава возрастного «в металле», а также установления оптимальных геометрических размеров, исходя из действующих в процессе его эксплуатации нагрузок и применяемых при изготовлении материалов, возникла необходимость в проведении прочностных расчетов его элементов.

Бурав возрастной классической конструкции (бурав Пресслера) [9] представляет собой полый трубчатый стержень, на одном конце которого выполнена режущая головка конической формы с винтовой нарезкой, а на другом конце устанавливается рукоятка. Стержень бурава ввинчивается в древесину на определенную глубину, а далее, с помощью специально устройства,

называемого экстрактором, керн отрывается от древесины ствола и извлекается из трубчатого стержня бурава.

Существует два принципиально разных исполнения буров по способу внедрения режущей головки в древесину.

Первое исполнение – когда буров внедряется в дерево, перерезая волокна древесины без образования стружки. У такого бурава режущая головка имеет коническую форму с наружной винтовой нарезкой, которая позволяет бурову при вращении совершать поступательное движение вглубь ствола дерева. Примером может служить широко используемая конструкция оригинального приростного бурава Мэттсона [5]. В зависимости от конструкции винтовая нарезка может быть двух- или трехзаходная [5]. Скорость поступательного движения зависит от угла наклона винтовой линии.

Второе исполнение – когда на торцевой поверхности режущей головки бурава выполнены зубья, которые перерезают волокна древесины по мере внедрения режущей головки в ствол дерева с образованием стружки. Примером может служить конструкция, описанная в авторском свидетельстве [4].

При использовании бурава второй конструкции, когда происходит перерезание волокон древесины с последующим отводом стружки, наносится меньший вред растущему дереву, чем при использовании бурава первой конструкции, когда происходит сминание с последующим разрывом волокон древесины, ведущее к «размочаливанию» наружной поверхности керна и внутренней поверхности, образуемого в стволе дерева отверстия, даже при незначительном загуплении рабочей кромки бурава. Кроме того, при взятии пробы древесины буровом первой конструкции значительно выше вероятность повреждения керна (сдвиг по годичным слоям), что связано с тем, что волокна сминаются с последующим разрывом, а не перерезаются, как при использовании бурава второй конструкции. Таким образом, использование бурава возрастного, работающего с образованием стружки, является предпочтительным.

Методика расчета на прочность

Рассмотрим буров возрастной, работа которого сопровождается образованием стружки. При силовом анализе конструкции было установлено, что одной из наиболее нагруженных деталей является корпус бурава, представляющий собой полый цилиндрический стержень, который работает на скручивание и изгиб.

При расчете за базовую конструкцию было решено принять буров возрастной для

взятия проб в сухой древесине [8]. Буров представляет собой трубчатый стержень (корпус) с режущей головкой на одном конце и хвостовиком, служащим для крепления рукоятки, на другом. Головка имеет режущие элементы и боковые направляющие канавки для вывода стружки из зоны резания.

Для проведения расчета корпуса бурава возрастного на прочность необходимо определить действующие на рассчитываемый элемент нагрузки, к которым относятся: крутящий момент, изгибающий момент.

Для определения крутящего момента, нагружающего стержень бурава при его вкручивании в древесину, необходимо знать усилия резания. Работу бурава, сопровождающуюся образованием стружки, можно рассмотреть как работу центрового сверла, в этом случае для расчета применима методика профессора А.Л. Бершадского [3].

Мощность резания центрового сверла, Вт

$$P_{\text{рез}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K \cdot V_s}{(4 \cdot 60)},$$

где D – наружный диаметр сверла, мм; K – удельная работа резания, КДж/см³; V_s – скорость подачи инструмента, м/мин.

Удельная работа резания при поперечном сверлении

$$K = k + \frac{p}{S_z},$$

где S_z – подача на зуб, мм; k, p – коэффициенты, зависящие от диаметра сверла и породы древесины, находятся по справочным таблицам.

Подача на зуб

$$S_z = \frac{S_o}{z} = \frac{1000 \cdot V_s}{(z \cdot n)},$$

где S_o – подача инструмента на оборот, мм; z – число зубьев (режущих элементов); n – частота вращения инструмента, мин⁻¹.

Потребный крутящий момент при работе трубчатого бурава

$$M_{\text{кр}} = \frac{S_o}{8000} \cdot [K_D \cdot D^2 - K_d \cdot d^2],$$

где S_o – подача бурава за один оборот, мм; D – наружный диаметр режущей головки бурава, мм; d – внутренний диаметр режущей головки бурава, мм; K_D – удельная работа резания сверла диаметром D ; K_d – удельная работа резания сверла диаметром d .

При прочностном расчете бурава возрастного следует учитывать, что древесина является анизотропным материалом, а значит, на усилие резания будут влиять положение ствола дерева (например, его

наклон), возможные наклон и колебание стержня бурава при вкручивании в древесину. Кроме того, необходимо учитывать пороки строения ствола дерева. Например, при попадании бурава в значительно более твердую древесину сучьев, усилия резания возрастают многократно и возможно заклинивание инструмента. И если в это время работник приложит чрезмерные усилия, то полый цилиндрический корпус бурава может не выдержать такой нагрузки. Обломок инструмента может остаться в древесине, что может повлечь за собой повреждение деталей и узлов лесозаготовительной техники при заготовке этого дерева в будущем.

В связи с вышесказанным в качестве расчетных нагрузок со стороны человека, работающего с буром, было решено принять максимальное усилие на рукоятке, согласно ГОСТ 21753-76 «Система «Человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования» составляет: при работе одной рукой $F = 147,15$ Н (15 кгс); при работе двумя руками $F = 196,2$ Н (20 кгс).

Как уже отмечалось выше, в связи с особенностями работы бурава возрастного рабочий может прикладывать к его рукоятке не только усилия кручения, но и произвольно нагружать стержень бурава напряжениями изгиба, особенно сильно это проявляется при выкручивании инструмента, когда тот заклинило в стволе дерева. В этом случае возникает сложно напряженное состояние, при котором проверку прочности следует вести по эквивалентным напряжениям с использованием теорий прочности.

В настоящий момент существует множество теорий прочности, но совершенной теории нет. При расчете деталей из пластичных материалов рекомендуется применять теорию наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения, а для деталей из хрупких материалов – теорию Мора. Для большей достоверности проверки восполь-

зуемся III (наибольших касательных напряжений) и IV (энергии формоизменения) теориями прочности для стержней из сталей, и дополнительно проверим по V (теория Мора) теории для стержней из чугуна.

Для расчета стержня из пластичного материала воспользуемся формулами III (наибольших касательных напряжений) или IV (энергетической) теории прочности, согласно которым эквивалентное напряжение

$$\sigma_{\text{эквIII,IV}} = \frac{M_{\text{эквIII,IV}}}{W_{\text{ос}}},$$

где $M_{\text{эквIII,IV}}$ – эквивалентный момент по третьей или четвертой теории; $W_{\text{ос}}$ – осевой момент сопротивления трубчатого круглого сечения.

Эквивалентный момент по третьей и четвертой теории при расчете на изгиб с кручением

$$M_{\text{эквIII}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2};$$

$$M_{\text{эквIV}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + 0,75 \cdot M_{\text{кр}}^2},$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент; $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент.

$$W_{\text{ос}} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right),$$

где D и d – соответственно наружный и внутренний диаметр стержня бурава.

Для расчета стержня из хрупкого материала воспользуемся формулами V теории прочности (Мора), согласно которым эквивалентное напряжение

$$\sigma_{\text{эквV}} = \frac{M_{\text{эквV}}}{W_{\text{ос}}},$$

где $M_{\text{эквV}}$ – эквивалентный момент по теории Мора.

Эквивалентный момент по теории Мора при расчете на изгиб с кручением

$$M_{\text{эквV}} = 0,5 \cdot (1 - K) \cdot M_{\text{изг}} + 0,5 \cdot (1 + K) \cdot \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2},$$

где $K = [\sigma_r]/[\sigma_{сж}]$ – коэффициент.

Крутящий момент на ручке-футляре при кручении двумя руками

$$M_{\text{кр}} = F \cdot h_{\phi},$$

где h_{ϕ} – длина рукоятки.

Изгибающий момент в начале заглупления бурава

$$M_{\text{изг}} = F \cdot h,$$

где h – длина стержня бурава.

Условие прочности стержня бурава

$$\sigma_{\text{эквIII}} < [\sigma];$$

$$\sigma_{\text{эквIV}} < [\sigma];$$

$$\sigma_{\text{эквV}} < [\sigma],$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала стержня бурава.

Для того чтобы корпус бурава не погнулся в процессе его работы, необходимо

проверить трубчатый стержень бурава на устойчивость:

$$\sigma_{уст} = \frac{F_{ос}}{(\varphi \cdot A)} \leq [\sigma_{сж}],$$

где $F_{ос}$ – осевая сила, сжимающая стержень, Н; φ – коэффициент продольного изгиба, показывающий снижение допускаемого напряжения; A – площадь поперечного сечения; $[\sigma_{сж}]$ – допускаемое напряжение материала стержня.

Коэффициент продольного изгиба находится по справочным таблицам, в зависимости от материала и конструктивной гибкости стержня (λ).

$$\lambda = \frac{L_{ст} \cdot \omega}{i_{мин}},$$

где $L_{ст}$ – длина стержня бурава; $\omega = 2$ – коэффициент, учитывающий способ закрепления концов стержня, для нашего случая; $i_{мин}$ – минимальный радиус инерции поперечного сечения.

Минимальный радиус инерции трубчатого сечения

$$i_{мин} = \frac{1}{4} \sqrt{(D^2 + d^2)}.$$

Корпус бурава необходимо проверить по условиям прочности и жесткости.

Условие прочности

$$\tau_{max} = \frac{16M_{кр}}{\pi D^3 \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \leq [\tau],$$

где τ_{max} – максимальное касательное напряжение, Па; $[\tau]$ – допускаемое касательное напряжение, Па.

Условие жесткости

$$\varphi_{max} = \frac{32M_{кр}l}{G\pi D^4 \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \leq [\varphi],$$

где φ_{max} – максимальный коэффициент продольного изгиба, показывающий снижение допускаемого напряжения; $[\varphi]$ – допускаемый угол скручивания, рад; G – модуль упругости вала при сдвиге, МПа; l – длина бурава, м.

Результаты расчета

По представленной методике был проведен расчет бурава возрастного на прочность для нескольких материалов (стали: Ст.3, 50Г, 50Х, 35ХМ, 40ХФА; чугун: ВЧ-60). Исходные данные, используемые при расчете, представлены в таблице.

Расчетные размеры бурава

Показатель	Значение	Примечание
Длина стержня L , м	0,25	для Северо-Запада РФ
Внутренний диаметр бурава d , мм	5,15	размер керна 0,2 дюйма
Внешний диаметр бурава D , мм	9,5	

Проведенные расчеты показали, что в качестве материала для изготовления бурава можно применять следующие конструкционные легированные стали: 50Х, 35ХМ, 40ХФА. Стали: Ст.3 и 50Г не удовлетворили условию прочности. Также проверку на прочность прошел высокопрочный чугун с шаровидным графитом ВЧ-60.

Расчеты показали, что определяющими факторами при расчете бурава возрастного на прочность являются не только усилия резания, но и напряжения изгиба. Данное обстоятельство говорит о целесообразности использования буровых возрастных совместно со специальными направляющими устройствами. Примером такой конструкции может служить устройство [1].

Использование направляющего устройства позволит использовать буравы с более тонкой стенкой без опасности поломки при работе в полевых условиях, что приведет к уменьшению их наружного диаметра и тем самым позволит уменьшить вред, наносимый дереву при взятии керна, а также использовать более дешевые материалы с более низкими прочностными характеристиками. Но при этом не стоит забывать о том, что используемый для изготовления корпусных элементов бурава материал должен обладать высокой стойкостью к коррозии и иметь малым коэффициентом трения по дереву.

Работа выполняется при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

Список литературы

1. Алметов А.Н. Бурав для извлечения керна древесины // Патент РФ № 1007970, 16.11.1999.

2. Бурав возрастной и пути его совершенствования [Электронный ресурс] / И.Р. Шегельман, В.М. Лукашевич, А.С. Васильев, Ю.В. Суханов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1743> (дата обращения: 12.08.2013).

3. Глебов И.Т. Резание древесины: учебное пособие – Екатеринбург: УГЛУ, 2007. – 228 с.

4. Копытков В.В., Михайлов М.И. Бурав для взятия кернов древесины // Патент СССР № 4755440, 12.07.1989. Бюл. № 4.

5. Лесотаксационное оборудование компании Haglof Sweden [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.haglof.ru> (дата обращения: 12.08.2013).

6. Шегельман И.Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство: Словарь: 4-е изд., перераб. и доп. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. – 278 с.

7. Шегельман И.Р., Лукашевич В.М., Васильев А.С. Совершенствование конструкции бурава возрастного [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. Режим доступа: – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1829> (дата обращения: 12.08.2013).

8. Einsatzhinweise [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.schneidwerkzeugmechanik.de/einsatzhinweise.html> (дата обращения: 12.08.2013).

9. Pressler M.R. Der forstliche Zuwachsbohrer neuester Construction und dessen praktische Bedeutung und Anwendung für die forstliche Forschungen // Tharandter forstliches Jahrbuch, 1866. – № 17. – P. 137–210.

References

1. Almetov A.N. Burav dlya izvlecheniya kerna drevesiny. Patent RF № 2163865. 16.11.1999.

2. Shegelman I.R., Lukashevich V.M., Vasilev A.S., Sukhanov Yu.V. Burav vozrastnoy i puti ego sovershenstvovaniya. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, no. 2. Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1743> (accessed 12.08.2013).

3. Glebov I.T. Rezanie drevesiny. – Ekaterinburg: UGLTU, 2007. 228 p.

4. Kopytkov V.V., Mikhaylov M. I. Burav dlya vzyatiya kernov drevesiny no. 1007970. 12.07.1989.

5. Haglof Sweden. Available at: <http://www.haglof.ru>. (accessed 12.08.2013).

6. Shegelman I.R. Lesnaya promyshlennost i lesnoe khozyaystvo: slovar: Petrozavodsk: PetrGU, 2008. 278 p.

7. Shegelman I.R., Lukashevich V.M., Vasilev A.S., Sovershenstvovanie konstruktсии burava vozrastnogo. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, no. 3. Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1829> (accessed 12.08.2013).

8. Einsatzhinweise Available at: <http://www.schneidwerkzeugmechanik.de/einsatzhinweise.html> (accessed 12.08.2013).

9. Pressler M.R. Der forstliche Zuwachsbohrer neuester Construction und dessen praktische Bedeutung und Anwendung für die forstliche Forschungen // Tharandter forstliches Jahrbuch, 1866. no. 17. pp. 137–210.

Рецензенты:

Питухин А.В., д.т.н., профессор, декан Лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск;

Григорьев И.В., д.т.н., профессор кафедры «Технология лесозаготовительных производств», Санкт-Петербургский государственный технический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.