

## СЕКЦИЯ 4. ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ: НОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.58168/Forestry2025\_488-494

УДК 630 323

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ

**С.Е. Арико**

к.т.н., доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий  
лесопромышленного производства, учреждение образования  
*«Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

**А.А. Гордейчик**

аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий  
лесопромышленного производства, учреждение образования  
*«Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

**С.А. Войнаш**

старший преподаватель кафедры архитектуры, реставрации и дизайна,  
*Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

**И.Н. Гарькин**

к.т.н., заведующий кафедрой архитектуры, реставрации и дизайна,  
*Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия*

**В.А. Соколова**

к.т.н., заместитель директора по перспективному развитию и инновациям,  
*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

#### **Аннотация.**

С целью определения влияния природно-производственных факторов на требуемую мощность при выполнении технологических операций, связанных с захватом и валкой деревьев, а также обрезкой сучьев и раскряжевкой хлыстов различных пород на сортименты в статье представлена разработанная методика расчета и выбора основных параметров харвестерной головки на основе рассмотрения особенностей выполнения технологических операций отдельными узлами данного технологического оборудования.

**Ключевые слова:** исследование, харвестерная головка, усилие, мощность, протаскивание, пиление, валка.

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE CHOICE OF HARVESTER HEAD PARAMETERS

**S.E. Ariko**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Logging Machinery,  
Forest Roads and Timber Production Technology  
Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

**A.A. Gordeychik**

*Postgraduate Student of Department of Logging Machinery,  
Forest Roads and Timber Production Technology,  
Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

**S.A. Voinash**

*senior lecturer of Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia*

**I.N. Garkin**

*Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia*

**V.A. Sokolova**

*Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Prospective Development and Innovations, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia*

**Abstract.**

To determine the influence of natural production factors on the required capacity when performing technological operations related to capturing and felling trees, as well as pruning branches and bucking whips of various breeds for sorting, the article presents the developed methodology for calculating and selecting the main parameters of the harvester head, based on consideration of the features of performing technological operations by individual nodes of this technological equipment.

**Keywords:** research, harvester head, force, power, pulling, sawing, felling.

Необходимый уровень безопасности и эффективности эксплуатации харвестеров при выполнении технологических операций должен обеспечиваться за счет конструкционной надежности и правильного выбора техническими параметрами отдельных ее элементов [1–3]. К наиболее ответственным из них относятся зажимные рычаги, которые обеспечивают удержание дерева при валке, его перемещении, обрезке сучьев и раскряжке. Наибольшие нагрузки зажимные рычаги испытывают в процессе создания предварительного натяга. При этом создаваемое усилие должно в 1,2–1,4 раза превышать вес обрабатываемого дерева [3–5], что позволяет уменьшить затрачиваемую на пиление мощность и образование сколов комлевой части дерева за счет исключения зажима пильного механизма. Выполнение данного условия влечет за собой необходимость увеличения усилия прижатия сучкорезных ножей, что вызывает возникновение дополнительных сопротивлений, а также проскальзывание дерева в протаскивающем механизме. В связи этим с целью реализации требуемого тягового усилия при обрезке сучьев необходимым является увеличения усилия прижатия подающих вальцов, что приведет к снижению скорости протаскивания дерева либо необходимости потребления большей мощности.

Затрачиваемую на протаскивание при обрезке сучьев мощность  $N_{\text{пр}}$  (Вт) можно определить по формуле:

$$N_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{пр}} \cdot v_{\text{ср}}^{\text{пр}}}{\eta_1}, \quad (1)$$

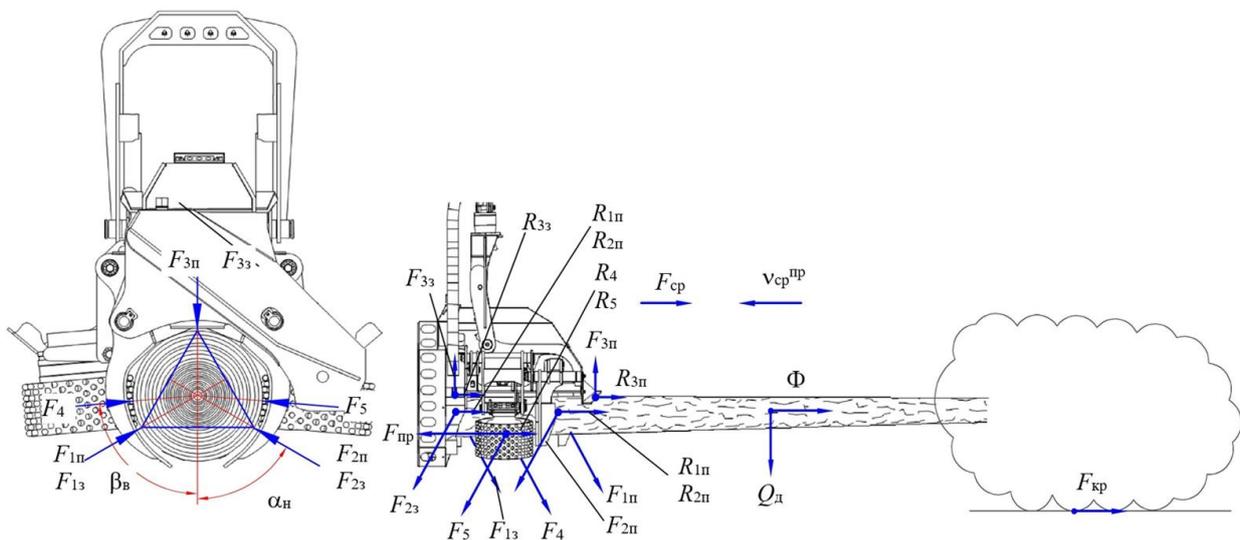
где  $F_{\text{пр}}$ ,  $v_{\text{ср}}^{\text{пр}}$  – усилие и средняя скорость протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, Н, м/с;  $\eta_1$  – КПД подающего механизма.

При этом усилии, необходимом для протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, можно определить по расчетной схеме (рисунок 1), которая учитывает, что при исследовании процесса протаскивания часть веса дерева, расположенная в харвестерной головке, рассматривается равно распределенной между точками соприкосновения с подвижными сучкорезными ножами и протаскивающими вальцами. Учитывая направления действия сил, возникающие коэффициенты трения и качения, в общем виде усилие, необходимое для протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, имеет вид:

$$F_{\text{пр}} = n_1 \cdot \left( F_{\text{пн}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2} \right) \cdot \mu_1 + \left( 0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2} \right) \cdot (\mu_1 + \mu_2) +$$

$$+ n_2 \cdot \left( F_{\text{пв}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2} \right) \cdot \mu_3 + Q_{\text{д}} \cdot (1 - k) \cdot f_{\text{кр}} + Q_{\text{д}} \cdot \frac{a}{g} + 1575 \cdot 10^3 \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{д}} \cdot n_{\text{с}} \cdot d_{\text{с}}^2, \quad (2)$$

где  $n_1, n_2$  – количество приводных ножей и подающих роликов, шт;  $F_{\text{пн}}$  – усилие прижатия подвижных сучкорезных ножей, которое составляет 850–950 Н [6];  $Q_{\text{д}}$  – вес дерева, Н;  $k$  – доля силы тяжести дерева приходящаяся на захват;  $\mu_1$  – коэффициент трения сучкорезных ножей по коре;  $\mu_2, \mu_3$  – коэффициенты сопротивления движению ствола по опорному ролику и приводным вальцам;  $F_{\text{пв}}$  – усилие прижатия приводных вальцов, Н;  $f_{\text{кр}}$  – коэффициент сопротивления перемещению вершинной части дерева по поверхности лесосеки;  $a$  – ускорение дерева при протаскивании, м/с<sup>2</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $a_{\text{п}}, a_{\text{д}}$  – поправочные коэффициенты на породу и угол резания [5–6];  $n_{\text{с}}$  – количество одновременно срезаемых сучьев, шт.;  $d_{\text{с}}$  – диаметр сучьев, м.



**Рисунок 1 – Расчетная схема протаскивания дерева через сучкорезные ножи при обрезке сучьев**

При этом учитывается, что привод пары ножей и вальцов большинства валочно-сучкорезно-раскряжевочных головок осуществляется одним гидроцилиндром или гидроцилиндрами одного типоразмера, получаем

$$F_{1\text{п}} = F_{2\text{п}} = F_{13} = F_{23} = F_{\text{пн}}; \quad F_4 = F_5 = F_{\text{пв}}, \quad (3)$$

где  $F_{1\text{п}}, F_{2\text{п}}, F_{13}, F_{23}$  – нормальные силы, действующие на передние и задние подвижные сучкорезные ножи, Н;  $F_4, F_5$  – силы, действующие на подающие вальцы, Н;

Тогда величины рассматриваемых сил сопротивления определяются следующим образом:

$$R_{1\text{п}} = R_{13} = R_{2\text{п}} = R_{23} = \left( F_{\text{пн}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2} \right) \cdot \mu_1, \quad R_{3\text{п}} = \left( 0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2} \right) \cdot \mu_1,$$

$$R_{33} = \left( 0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2} \right) \cdot \mu_2, \quad R_4 = R_5 = \left( F_{\text{пв}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2} \right) \cdot \mu_3,$$

(4)

где  $R_{1п}, R_{2п}, R_{1з}, R_{2з}, R_{3п}$  – силы сопротивления, действующие на передние, задние подвижных и неподвижный сучкорезные ножи, Н;  $R_4, R_5$  и  $R_{3з}$  – силы сопротивления, действующие на подающие вальцы и опорный (поддерживающий) ролик, Н.

Симметричное действие сил  $F_{1п}, F_{2п}, F_{1з}, F_{2з}, F_4$  и  $F_5$  относительно продольной оси харвестерной головки, а также расположение подающих вальцов посередине расстояния между неподвижным сучкорезным ножом и опорным роликом позволяет сделать допущение о равенстве нормальных реакций  $F_{3п}$  и  $F_{3з}$ .

Исходя из конструктивных особенностей технологического оборудования и специфики выполняемых операций, влияющих на эксплуатационные свойства, необходимым является определение мощности, которая затрачивается на привод харвестерной головки в процессе срезания дерева. Данная величина  $N_B$  (Вт) включает в себя затраты мощности на резание древесины цепным инструментом, надвигание пильной шины и определяется по формуле (5).

$$N_B = \frac{F_{вз} \cdot V}{\eta_2} + \frac{F_H \cdot v}{\eta_3}, \quad (5)$$

где  $F_{вз}$  – усилие на ведущей звездочке, Н;  $V$  – скорость резания, м/с;  $\eta_2$  и  $\eta_3$  – КПД передачи от двигателя к цепи и механизму надвигания пильной шины;  $F_H$  – усилие надвигания пильной шины, Н.

Затраты мощности на привод зажимных рычагов  $N_{зр}$  (Вт) при равенстве скоростей зажима сучкорезных ножей  $v_3$  (м/с) и подающих вальцов определяется как

$$N_{зр} = \frac{(n_1 \cdot F_{пн} + n_2 \cdot F_{пв}) \cdot v_3}{\eta_4}, \quad (6)$$

где  $\eta_4$  – КПД передачи от двигателя к приводу захвата.

На основе проведенных исследований влияния различных факторов на выбор параметров харвестерной головки получены закономерности в виде намограммы (рисунок 2), отражающие связь между основными характеристиками насаждений (пародный состав, средний объем хлыста), конструктивными особенностями и отдельными основополагающими техническими параметрами валочно-сучкорезно-раскряжевочного технологического оборудования.

Исследованиями установлено, что в зависимости от породного состава и среднего объема хлыста, который в свою очередь зависит от условий произрастания и возраста насаждений, требуемое усилие на обрезку сучьев изменяется в широком диапазоне. При обработке деревьев со средним объемом хлыста  $0,2 \text{ м}^3$  величина усилия протаскивания  $F_{пр}$  (Н) дерева в процессе обрезки сучьев достигает  $14,9 \text{ кН}$  для сосны и  $10,1 \text{ кН}$  для березы (рисунок 2). При этом для протаскивания дерева со средней скоростью  $v_{ср}^{пр}$   $2,7\text{--}5,2 \text{ м/с}$  потребляемая мощность составляет  $47\text{--}91 \text{ кВт}$ . Мощности, которая затрачивается на привод захватных рычагов  $N_{зр}$  и механизма срезания дерева  $N_B$  составляет  $4\text{--}7 \text{ кВт}$  и  $12\text{--}14 \text{ кВт}$  соответственно. Двухкратное увеличение объема обрабатываемого древостоя ( $0,4 \text{ м}^3$ ) приводит к необходимости увеличения усилия протаскивания до  $25 \text{ кН}$ , а мощности до  $153 \text{ кВт}$ . Учитывая, полученные данные установлено, что полная мощность, затрачиваемая на привод харвестерной головки, должна на  $10\text{--}15\%$  превышать мощность привода протаскивающего механизма.

Учитывая вышесказанное при выборе параметров харвестерной головки первоочередное внимание, следует уделять анализу условий эксплуатации. Основным параметром, определяющим требуемые силовые и мощностные характеристики технологического оборудования, является средний объем хлыста, который регламентирует требуемое усилие протаскивания. При этом для привода протаскивающих вальцов требуемая мощность может находиться в достаточно широком диапазоне, что в конечном итоге влияет на выбор устанавливаемого двигателя или эффективность эксплуатации харвестера, на котором осуществляется замена харвестерной головки.

При выборе данного технологического оборудования следует учитывать, что скорость протаскивания зависит от количества сучьев и длины выпиливаемых сортиментов. Так при

проведении рубок в насаждениях, имеющих более высокий класс бонитета (Ia, I) и возраст обеспечиваются условия реализации максимальной скорости протаскивания (до 5,2 м/с), что позволяет устанавливать более мощные гидромоторы привода (харвестерные головки) и двигателя внутреннего сгорания на лесные машины, обеспечивая тем самым существенное увеличение производительности и эффективности эксплуатации технологического оборудования и харвестера в целом. Снижение возраста и класса бонитета приводит не только к снижению среднего объема хлыста, но и длины выпиливаемых сортиментов, что не позволяет реализовать максимальную скорость протаскивания [7]. В данном случае следует ориентироваться на кривые (рисунок 2), отражающие зависимость мощности затрачиваемой на привод протаскивающего механизма от средней или минимальной скорости протаскивания. Это обеспечит максимальную загрузку двигателя лесной машины и эффективную ее эксплуатацию.

Исходя из диаметра обрабатываемого дерева на высоте 1,3 м  $d_{1,3}$  (м) и величины раскрытия сучкорезных ножей  $D_{сн}$  (м) представленная номограмма, позволяет определять ориентировочную массу харвестерной головки  $m_{зсу}$  (кг), которая оказывает существенное влияние на устойчивость харвестера и выбор вылета манипулятора, а также габаритно-массовых параметров лесной машины. Так для обработки древостоя объемом 0,2 м<sup>3</sup> требуется харвестерная головка массой около 530 кг, а 0,4 м<sup>3</sup> – 650 кг. При этом, следует ориентироваться на средние значения величины открытия сучкорезных ножей, так как их минимальное значения снижает производительность ввиду увеличения времени на наведение харвестерной головки на дерево, а увеличение данного параметра увеличивает время их закрытия и открытия, вес технологического оборудования и машины в целом, а также может провоцировать операторов к обработке древостоя, параметры которого превышают технически допустимые значения.

Полученные графические зависимости имеют схожий характер с представленными ранее материалами [3,8], а также близкие значения в диапазоне совпадения параметров среднего объема хлыста на рубках главного и промежуточного пользования (до 0,3 м<sup>3</sup>) при прочих аналогичных условиях эксплуатации технологического оборудования харвестера.

#### Заключение

На основе имеющихся данных разработана и приведена методика выбора параметров захватно-срезающего устройства на примере харвестерной головки, которая позволяет определить силовые и мощностные параметры данного технологического оборудования с учетом обеспечения его эффективной работы в заданных природно-производственных условиях.

Полученные результаты и представленная номограмма позволяют быстро и с достаточной точностью определять параметры харвестерных головок в зависимости от породного состава и среднего объема насаждений, что в конечном итоге позволяет производителям новой лесозаготовительной техники сократить время их разработки, а также снизить объем доработки опытного образца. Для эксплуатирующих организаций полученные результаты являются актуальными в виду возможности подбора харвестеров или харвестерных головок, в случае их замены, для конкретных условий эксплуатации.

#### Список литературы

1. Сенькин В.А. Обоснование параметров оборудования многооперационных машин при сортиментной заготовке древесины: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.21.01; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М.Кирова. – СПб., 2006. 20 с.
2. Zimelis A., Sisenis L., Sarmulis Z., Ariko S. Technology and energy balance in stump harvesting with MCR 500 // Engineering for rural development: 17th International Scientific Conference, Jelgava, 23–25 May 2018 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Latvian Academy of Agricultural and Forestry Sciences. – Jelgava, Latvia, 2018. pp. 1395–1400. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N162.

3. Арико С.Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.21.01; Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2012. – 157 с.
4. Кушляев В.Ф. Лесозаготовительные машины манипуляторного типа. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 248 с.
5. Матвейко А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 447 с.
6. Федоренчик А.С., Турлай И.В. Харвестеры: учеб. пособие для студентов вузов. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.
7. Давиданс М., Савельев А., Сармулис З., Ребокс Д., Арико С.Е. Обработка нетипичных деревьев харвестером // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 26–28 апреля 2017. – Минск: БГТУ, 2017. – С. 132-134.
8. Голякевич С.А., Арико С.Е., Гороновский А.Р., Мохов С.П., Пищов С.Н. Моделирование работы технологического оборудования харвестера на операции обрезки сучьев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы Междунар. заочной науч.-техн. конф., Воронеж, 17–19 марта 2015 г. / Федеративное гос. бюджет. образовательное учрежд. высш. проф. образования «Воронеж. гос. лесотехн. акад.»; редкол.: В.М. Бугаков (гл. ред.) [и др.]. – Воронеж, 2015. – №2 ч. 1 (13–1). – С. 195-199.

#### References

1. Senkin, V. A. (2006). *Obosnovanie parametrov oborudovaniia mnogooperatsionnykh mashin pri sortimentnoi zagotovke drevesiny* [Justification of the parameters of multi-operation machine equipment for cut-to-length wood harvesting] (Publication No. 05.21.01) [Abstract of candidate's dissertation, Saint Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov].
2. Zimelis, A., Sisenis, L., Sarmulis, Z., & Ariko, S. (2018). Technology and energy balance in stump harvesting with MCR 500. In *Engineering for rural development: 17th International Scientific Conference, Jelgava, 23–25 May 2018* (pp. 1395–1400). Latvia University of Life Sciences and Technologies. URL: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N162>.
3. Ariko, S. E. (2012). *Obosnovanie parametrov valochno-suchkorezno-raskriazhevochnoi mashiny dlia rubok promezhutochnogo lesopol'zovaniia* [Substantiation of the parameters of a feller-delimber-bucker machine for intermediate cutting] (Publication No. 05.21.01) [Abstract of candidate's dissertation, Belarusian State Technological University].
4. Kushliaev, V. F. (1981). *Lesozagotovitel'nye mashiny manipulatornogo tipa* [Logging machines of the manipulator type]. Lesnaia promyshlennost.
5. Matveiko, A. P. (2006). *Tekhnologiia i oborudovanie lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of logging production]. Tekhnoperspektiva.
6. Fedorenchik, A. S., & Turlai, I. V. (2002). *Kharvestery* [Harvesters]. Belarusian State Technological University.
7. Davidans, M., Savelev, A., Sarmulis, Z., Reboks, D., & Ariko, S. E. (2017). Obrabotka netipichnykh derev'ev kharvesterom [Processing of atypical trees with a harvester]. In *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniia: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, Minsk, 26–28 apreliia 2017 (pp. 132–134). Belarusian State Technological University.
8. Goliakevich, S. A., Ariko, S. E., Goronovskii, A. R., Mokhov, S. P., & Pishchov, S. N. (2015). Modelirovanie raboty tekhnologicheskogo oborudovaniia kharvestera na operatsii obrezki suk'ev [Modeling of the harvester's technological equipment operation at the branch trimming stage]. In V. M. Bugakov (Ed.), *Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika: materialy Mezhdunarodnoi zaочноi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, Voronezh, 17–19 marta 2015 g. (Vol. 2, No. 13-1, pp. 195–199). Voronezh State Forestry Academy.

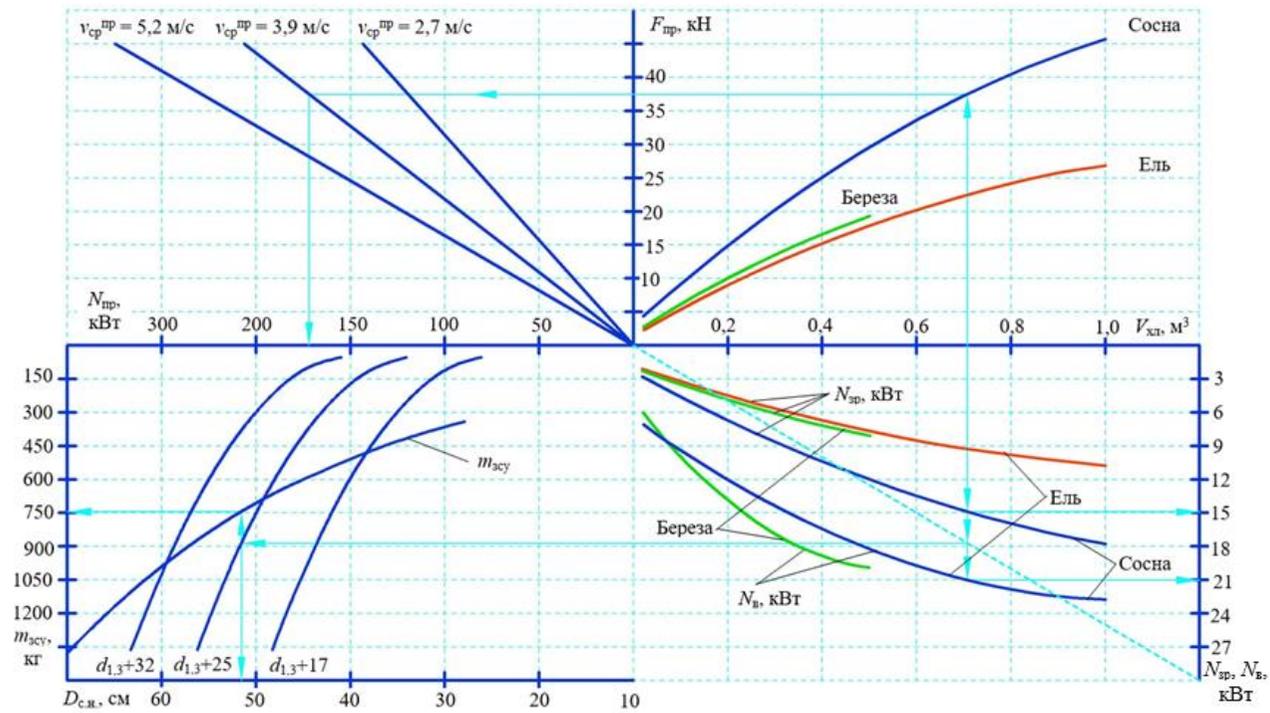


Рисунок 2 – Номограмма определения параметров харвестерной головки