

УДК 630\*377.21

**А. О. Шошин<sup>1</sup>, В. Штоллманн<sup>2</sup>, С. В. Ярмолик<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Технический университет в Зволене (Словацкая Республика)**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ  
УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ УСЛОВИЙ**

Предложен и апробирован алгоритм определения параметров мобильной канатной трелевочной установки, позволяющий производить проектирование и включающий следующие пункты: высота мачты, мощность и геометрические размеры рабочих барабанов (несущего, тягового). Обоснована стадийность расчета по алгоритму.

Детерминированы группы мобильных канатных трелевочных установок и коэффициент сопротивления движению в зависимости от эксплуатационных условий: объема хлыста, среднего расстояния трелевки, уклона местности, коэффициента лобового сопротивления, годового объема производства.

Получена диаграмма определения мощности на тяговом и несущем барабанах, позволяющая подобрать базовую машину в зависимости от способа трелевки древесины, коэффициента сопротивления движению, скорости трелевки/подтрелевки, высоты мачты, максимальной величины пролета и объема пачки. Получена диаграмма зависимости диаметра барабана несущего каната от объема пачки, коэффициента запаса прочности и производителя гибкого органа. Построена диаграмма определения диаметра барабана тягового каната в зависимости от объема пачки, коэффициента сопротивления движению, коэффициента запаса прочности и производителя гибкого органа.

Для коробчатого сечения мачты установлены зависимости ширины сечения от высоты мачты, коэффициента сопротивления движению и объема пачки лесоматериалов. Выделены диапазоны рациональных размеров сечений мачты.

**Ключевые слова:** алгоритм, мощность, барабаны, мачта, трелевочная установка.

**Для цитирования:** Шошин А. О., Штоллманн В., Ярмолик С. В. Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной установки для заболоченных условий // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 1 (288). С. 83–96.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-288-9.

**A. A. Shoshyn<sup>1</sup>, V. Štollmann<sup>2</sup>, S. V. Yarmolik<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Technical University in Zvolen (Slovak Republic)**DETERMINATION OF PARAMETERS OF A MOBILE CABLE SKIDDING UNIT  
FOR WATERLOGGED FOREST AREAS**

An algorithm for determining the parameters of a mobile cable skidding unit has been proposed and tested. It allows for design and includes the following points: mast height, power and geometric dimensions of the working drums (carrying, traction). The stage-by-stage nature of the calculation according to the algorithm has been substantiated.

Groups of mobile cable skidding units and the drag coefficient have been determined depending on operating conditions: log volume, average skidding distance, terrain slope, drag coefficient, and annual production volume.

A diagram has been obtained for determining the power on the traction and carrying drums, allowing for the selection of a base machine depending on the timber skidding method, drag coefficient, skidding/skidding speed, mast height, maximum span, and bundle volume. A diagram has been obtained for the dependence of the carrying rope drum diameter on the bundle volume, safety factor, and flexible organ manufacturer. A diagram for determining the diameter of a traction rope drum depending on the volume of a bundle, the coefficient of resistance to movement, the safety factor, and the manufacturer of the flexible organ is constructed. For a box-shaped mast section, the dependences of the section width on the mast height, the coefficient of resistance to movement, and the volume of a bundle of timber are established. Ranges of rational sizes of mast sections are identified.

**Keywords:** algorithm, power, drums, tower, skidding unit.

**For citation:** Shoshyn A. O., Štollmann V., Yarmolik S. V. Determination of parameters of a mobile cable skidding unit for waterlogged forest areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 1 (288), pp. 83–96 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-288-9.

**Введение.** Современный рынок лесозаготовительной техники предоставляет широкие возможности выбора производителя и модели мобильной канатной трелевочной установки. В их числе Larix, Koller, Konrad, Ritter, Madill, Grizzly, TST [1–6]. Однако значительная стоимость этой техники, необходимость долгого и профессионального обучения ставит перед инженерами и учеными задачу проектирования и создания отечественной мобильной канатной трелевочной установки, соответствующей требованиям лесозаготовительного производства и лесохозяйственным ограничениям [7–11].

Серьезную работу по определению параметров привода канатных трелевочных установок проделал В. В. Барыляк, который установил ступенчатый характер изменения моментов инерции приводных барабанов в зависимости от наматывания и разматывания гибкого органа; получил зависимости изменения мощности двигателя базовой машины в зависимости от частоты вращения и количества витков намотки; предложил минимальные значения передаточного отношения привода в зависимости от грузоподъемности установки; обосновал максимально допустимое количество витков наматывания в зависимости от передаточного отношения; раскрыл влияние приведенного коэффициента жесткости линий передач привода на коэффициент динамичности нагрузок, возникающих в приводе [12].

М. П. Мартынцив идентифицировал зависимости коэффициента неравномерности распределения поперечной нагрузки между опорными катками каретки и углом наклона хорды пролета, установил расстояния между осями опорных балансиров и высотой подвески груза [13].

Определению параметров привода двухбарабанной лебедки канатной трелевочной установки посвящена работа А. Н. Удовичко. Автор приводит номограммы, связывающие крутящие моменты на рабочих барабанах, их момент инерции и угловую скорость в зависимости от приведенной жесткости элементов привода [14].

Новый технический подход в направлении создания канатных трелевочных установок представлен в монографии В. Штолльманна, Ш. Ильчика и Ю. Р. Никитина [15]. Авторы предлагают «рекуперационные» решения при проектировании элементов или канатной установки в целом. Разработаны: рабочий макет новой канатной системы с двумя каретками на одном несущем канате; лабораторный стенд гирационной установки.

Фундаментальный вклад в расчет гибких нитей канатных лесотранспортных установок внесли А. И. Дукельский, Н. М. Белая, А. Schlaghamerský, P. Roško [16–19].

В то же время авторами приведенных работ не были напрямую предложены и обоснованы параметры привода, мачты, каретки, не выявлен

детерминированный подход к определению базовой машины и каретки.

Цель работы – выработка последовательного и взаимно увязанного алгоритма определения параметров мобильных канатных трелевочных установок и анализ полученных результатов, выполненных по данному алгоритму.

Актуальность темы заключается в том, что на данный момент не обнаружено цельной расчетной системы, позволяющей подбирать параметры канатных трелевочных установок, в том числе мобильных.

**Основная часть.** При проектировании мобильной канатной трелевочной установки необходимо руководствоваться лесорастительными условиями лесосечного фонда и годовым объемом лесозаготовок по труднодоступному лесному фонду.

Для условий Республики Беларусь наиболее эффективно применение установки со следующими характеристиками:

а) принципиальная схема мобильной канатной трелевочной установки – с неподвижным несущим канатом;

б) тип привода – от двигателя базовой машины;

в) тип движителя базовой машины – колесный;

г) назначение рабочих канатов – несущий, тяговый, возвратный, вспомогательный, монтажный (в зависимости от конструкции и технологии монтажных работ);

д) способ перемещения установки – самоходная;

е) конструкция трелевочной мачты – навесная, двухсекционная;

ж) тип каретки – вытяжная.

Установки с заданными характеристиками могут эффективно применяться в первую очередь для полуподвесной трелевки древесины на сплошных рубках.

Алгоритм определения параметров мобильной канатной трелевочной установки с вышеописанными характеристиками представлен в виде блок-схемы на рис. 1.

Алгоритм включает ряд действий:

– анализ лесорастительных условий разрабатываемого лесного фонда;

– определение типа установки;

– расчет сменной производительности  $P_{см}$  канатной установки по заданным исходным данным;

– вычисление скорости трелевки  $v_{тр}$  по выбранному объему пачки  $V_{пач}$  и сменной производительности  $P_{см}$ ;

– определение высоты мачты;

– выбор способа трелевки (подвесная, полуподвесная, волоком) и определение усилий в канатах и касательной силы на барабанах;

– расчет мощности на барабанах и выбор базовой машины;

– установление параметров барабанов и канатов;

– определение сечения мачты;

– подбор каретки на основании типа установки.

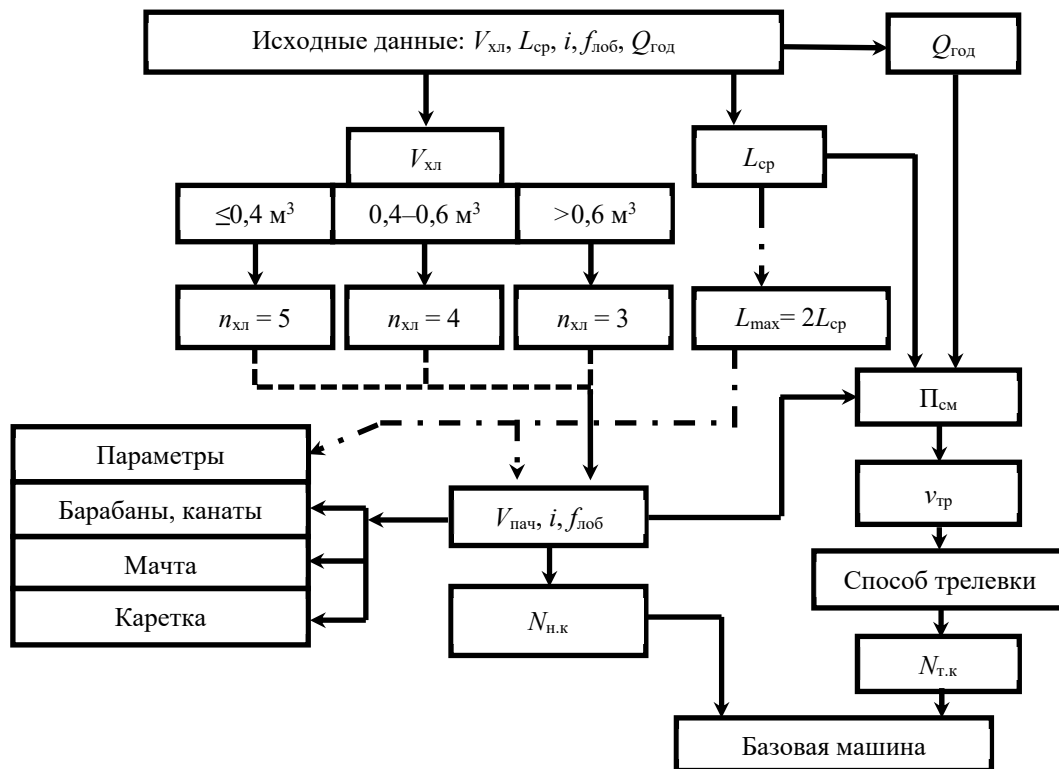


Рис. 1. Алгоритм определения параметров мобильной канатной трелевочной установки на базе трактора (в данной статье не приведены следующие элементы алгоритма: определение параметров каретки; подбор базовой машины)

В лесозаготовительных условиях Республики Беларусь наиболее вероятным вариантом работы мобильных канатных трелевочных установок является обеспечение освоения труднодоступных заболоченных лесосек не отдельного лесхоза, а целого ГПЛХО или группы рядом расположенных лесхозов. Это связано с необходимостью обеспечения полной загрузки техники в течение года.

На основе изученных источников [9, 15–20] выделены 3 типа установок:

- легкие (объем пачки до 1,5 м<sup>3</sup>, максимальная величина пролета 70 м);
- средние (объем пачки от 1,5 до 5 м<sup>3</sup>, максимальная величина пролета 100 м);
- тяжелые (объем пачки от 5 до 10 м<sup>3</sup>, максимальная величина пролета 200 м).

Зависимость конструкции проектируемой установки от лесорастительных факторов:  $V_{хл}$  (объем хлыста),  $L_{ср}$  (среднее расстояние трелевки),  $i$  (средний уклон местности),  $f_{лоб}$  (коэффициент лобового сопротивления) – связана со значительной вариацией усилий в рабочих органах, мачте, каретке и, следовательно, с широким диапазоном изменения мощности привода и базовой машины.

При выборе значения коэффициента лобового сопротивления  $f_{лоб}$  необходимо проведение обследования характерных лесосек разрабатываемого лесфонда. Для этого значения  $f_{лоб}$  разбиты на несколько групп, полученных в результате анализа

ряда работ и экспериментальных исследований заболоченного лесного фонда Республики Беларусь [21–25]:

- $f_{лоб} \leq 1$ :
  - а) средняя высота корневой шейки находится в пределах до 0,5 м;
  - б) встречаются одиночные естественные холмы и овраги;
- $f_{лоб} = 1-2$ :
  - а) средняя высота корневой шейки находится в пределах 0,5–1 м;
  - б) множественные естественные холмы и овраги;
  - в) доля ели в составе насаждения 10–20%.
- $f_{лоб} = 2-2,5$ :
  - а) средняя высота корневой шейки достигает 1,5 м;
  - б) множественные естественные холмы и овраги;
  - в) доля ели в составе насаждения более 20%.

Наиболее важным фактором является средний объем хлыста, непосредственно влияющий на объем пачки и усилия в канатах. Никаких технических ограничений на объем пачки не существует, однако практика применения таких установок показывает, что объем пачки ограничен количеством лесоматериалов, которые она включает. Количество лесоматериалов в пачке должно находиться в диапазоне от 3 до 5 штук и определяться в соответствии с алгоритмом (рис. 1).

Ограничение количества хлыстов в пачке не более 5 связано с увеличением времени цикла за счет чокоровки, повышения количества зацепов пачки и времени на ее высвобождение, что напрямую влияет на уменьшение производительности установки [26, 27]. Уклон местности с подъемом в сторону головной мачты увеличивает сопротивление подъему пачки при трелевке вдоль несущего каната, однако труднодоступный лесосечный фонд страны в подавляющем объеме представлен заболоченными равнинными территориями, для которых уклоны минимальны. Для разрабатываемой методики определения параметров заложен уклон в  $5^\circ$  в сторону лесосеки от верхнего склада. Среднее расстояние трелевки принималось в зависимости от максимального как 1:2.

В соответствии с порядком определения параметров мобильных канатных трелевочных установок (рис. 1), используя исходные данные разрабатываемого лесного региона (среднее расстояние трелевки  $L_{\text{ср}}$ , средний объем хлыста  $V_{\text{пач}}$ ) и требуемую сменную производительность  $\Pi_{\text{см}}$  (исходя из годового объема заготовок), определяется скорость трелевки  $v_{\text{тр}}$  (рис. 2).

В зависимости от выбранного способа трелевки пачки вдоль несущего каната и скорости перемещения максимальное значение мощности барабана тягового каната  $M_{\text{т.к}}$  может быть определено либо по усилию на подтрелевку  $S_{\text{т.к.под}}$  операции подтрелевки, либо по операции трелевки по усилию на трелевку  $S_{\text{т.к.тр}}$  (рис. 3). Для обеспечения безопасных условий труда на операции подтрелевки принята минимальная скорость данной операции, равная 0,5 м/с. Мощность привода барабана несущего каната  $N_{\text{н.к}}$  определяется на основе выбора величины пролета, высоты мачты, скорости намотки/размотки несущего каната при монтажно-демонтажных работах.

По данной диаграмме определяется необходимая мощность двигателя базовой машины на основе максимального из двух значений мощности, определенных через мощность на привод барабанов тягового и несущего канатов в соответствии с принятым КПД привода 0,9. На основе предварительных расчетов мощности из условия проходимости колесной техники на лесных заболоченных почвах было получено пороговое значение мощности двигателя в 130 кВт.

Для определения параметров привода канатной установки на рис. 3 приведена номограмма, анализ которой позволяет отметить:

– установки для полуподвесной трелевки за комли и за вершины при скорости 5 м/с ограничены объемом пачки  $3,5 \text{ м}^3$ , а при подвесной трелевке –  $3,0 \text{ м}^3$ . Ограничения при скорости трелевки 4 м/с: для полуподвесной трелевки за комли –  $4,5 \text{ м}^3$ , за вершины –  $4,0 \text{ м}^3$ , при подвесной –  $3,5 \text{ м}^3$ . Для меньших скоростей ограничений нет;

– при значении мощности до 65 кВт в зависимости от способа трелевки и величины коэффициента сопротивления движению мощность барабана тягового каната может быть определена либо по операции подтрелевки, либо по операции трелевки. При больших значениях мощность определяется только по операции трелевки;

– при скорости намотки/размотки барабана несущего каната 1,5 м/с параметры установки ограничены  $2 \text{ м}^3$  при расстоянии трелевки 100 м и  $3 \text{ м}^3$  при расстоянии трелевки 70 м для всех высот мачты;

– при величине пролета 100 м существуют следующие ограничения: при высоте мачты 8 м объем пачки не должен превышать  $4 \text{ м}^3$ , при высоте 7 и 6 м должен быть не более  $3,5 \text{ м}^3$ . При величине пролета 70 м нет ограничений.

**Определение параметров канатов и барабанов.** Приведенные на рис. 4 и 5 номограммы позволяют установить диаметры и производителя несущего  $d_{\text{н.к}}$  и тягового  $d_{\text{т.к}}$  канатов, а также диаметры соответствующих им барабанов  $D_{\text{н.к}}$  и  $D_{\text{т.к}}$  (в данной статье приведены только для пролета в 100 м).

Проведенные исследования (рис. 4) показали, что увеличение высоты мачты приводит к уменьшению усилия в несущем канате, что положительным образом сказывается на обеспечении безаварийного прохождения пачки по трелевочному коридору, частично уменьшает суммарный изгибающий момент, приходящийся на мачту. В зависимости от производителя гибкого органа (зарубежный либо отечественный) при одинаковых и близких величинах диаметра каната разрывное усилие может отличаться весьма значительно [28–38]. Начиная с диаметра 12 мм существенное преимущество по отношению к остальным вариантам наблюдается у производителя Teufelberger (модель F30) [30]. В сторону уменьшения усилия в несущем канате можно отметить весьма близкие значения разрывного усилия для производителей Python (модель 6 R+F), Drumet (модель K6×25F), Vornbaumen (модель VS 6-5 C). При этом показатели производителя Vornbaumen незначительно уступают Python и Drumet [29, 31, 32]. Разрывные характеристики отечественных канатов, производимых в соответствии с требованиями стандартов (ГОСТ 3077–80, ГОСТ 2668–80, ГОСТ 7667–80) [34, 36, 37], достаточно сильно уступают зарубежным, что вызвано давностью разработки этих норм, игнорированием видом грузоподъемных машин и спецификой их работы, в то время как зарубежные производители выделяют отдельные марки канатов для выполнения операций на машинах конкретных отраслей промышленности. Наилучшим отечественным вариантом для применения в качестве несущего органа является канат, отвечающий требованиям ГОСТ 7667–80 [34].

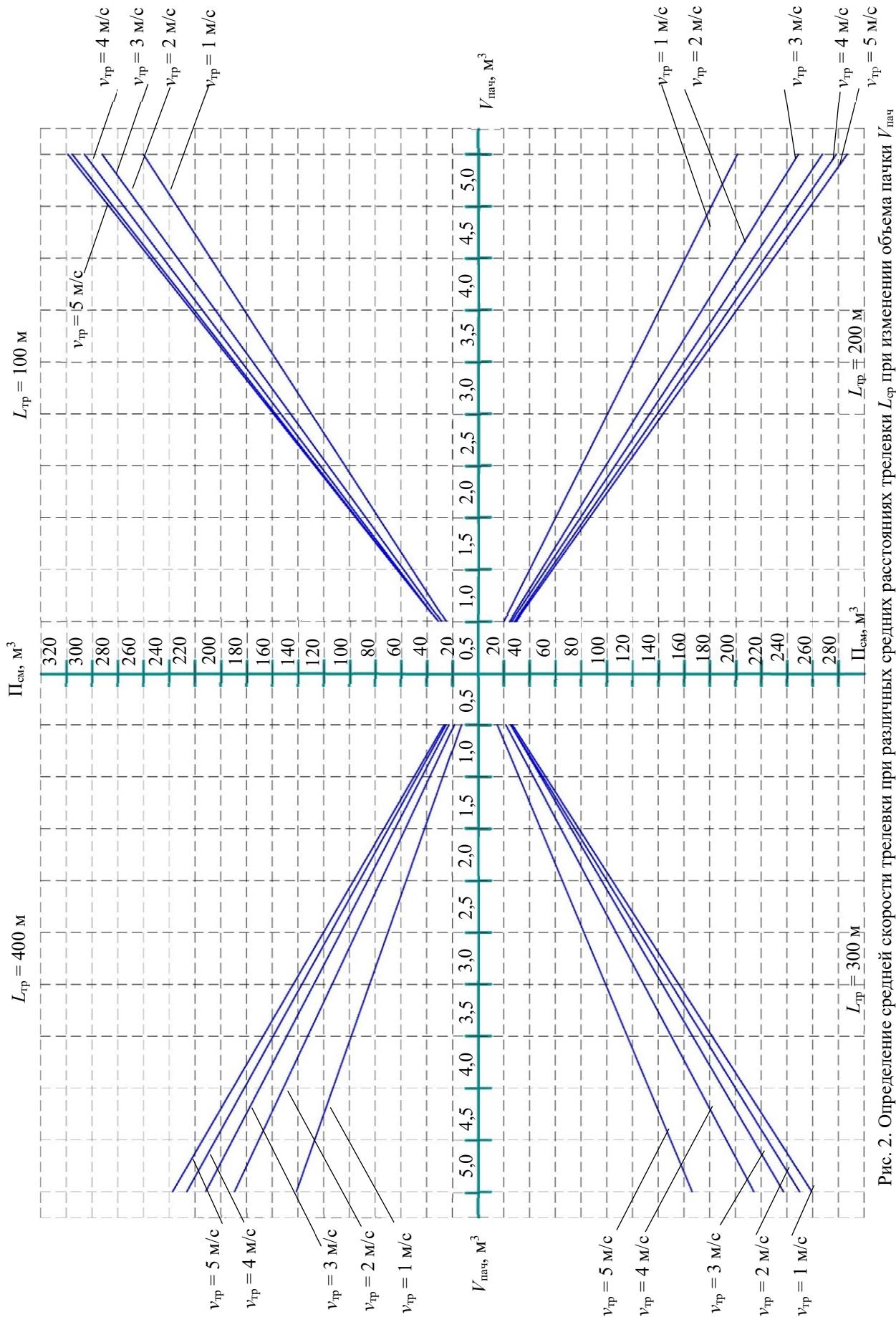


Рис. 2. Определение средней скорости треловки при различных средних расстояниях треловки  $L_{ср}$  при изменении объема пачки  $V_{пач}$

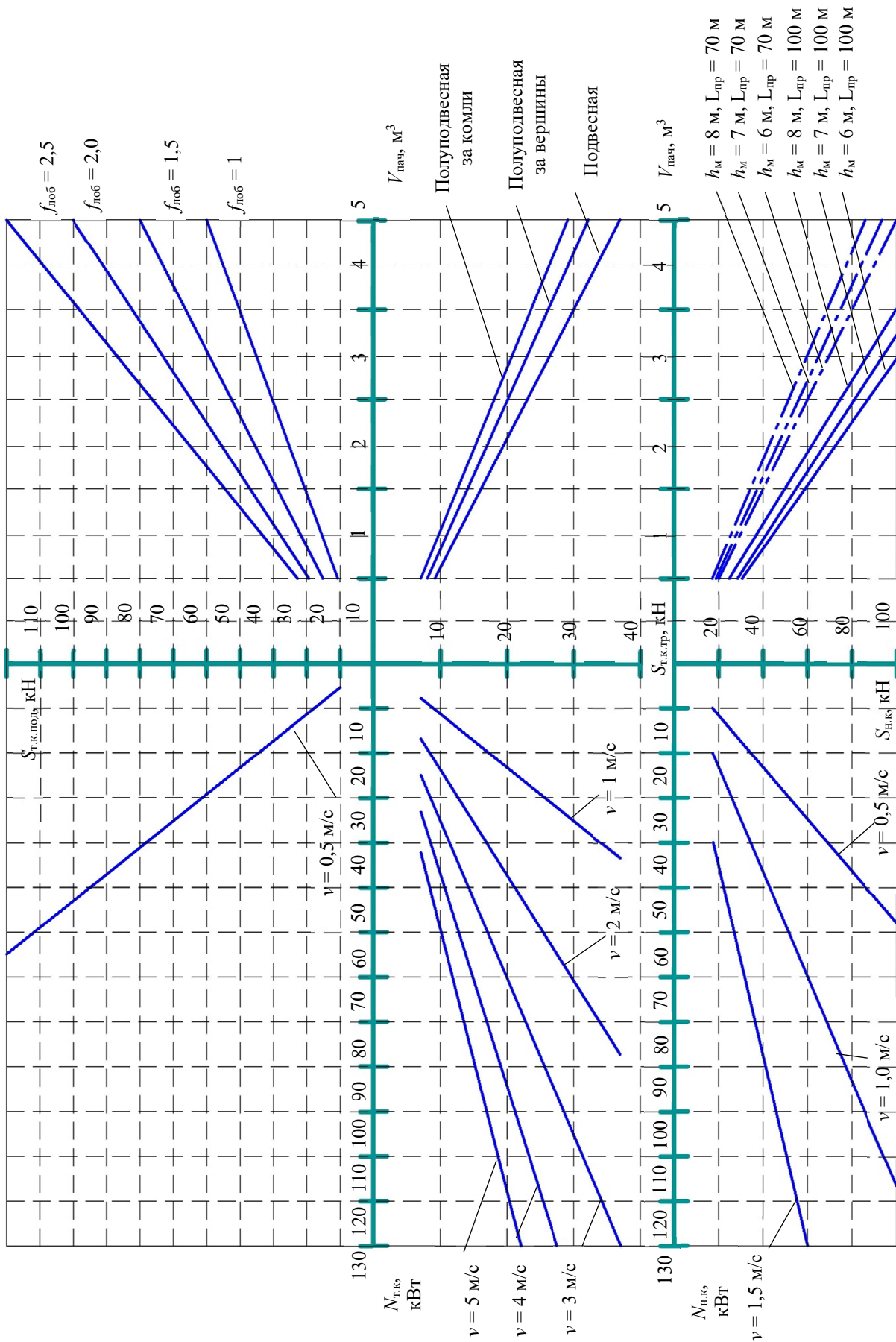


Рис. 3. Диаграмма определения мощности на барабанах тягового и несущего канатов

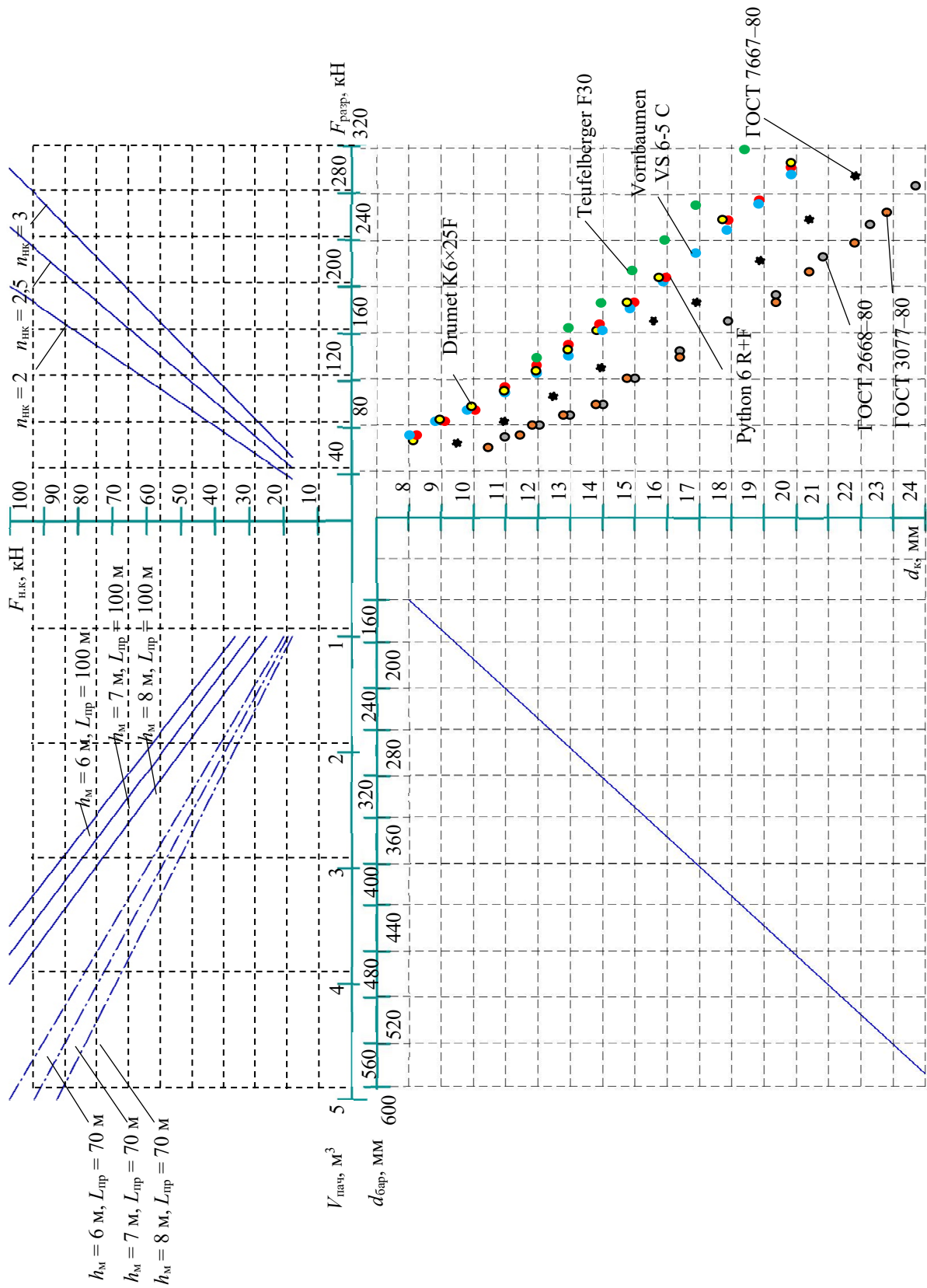


Рис. 4. Подбор параметров для барабана несущего каната при расстоянии пролета 100 м

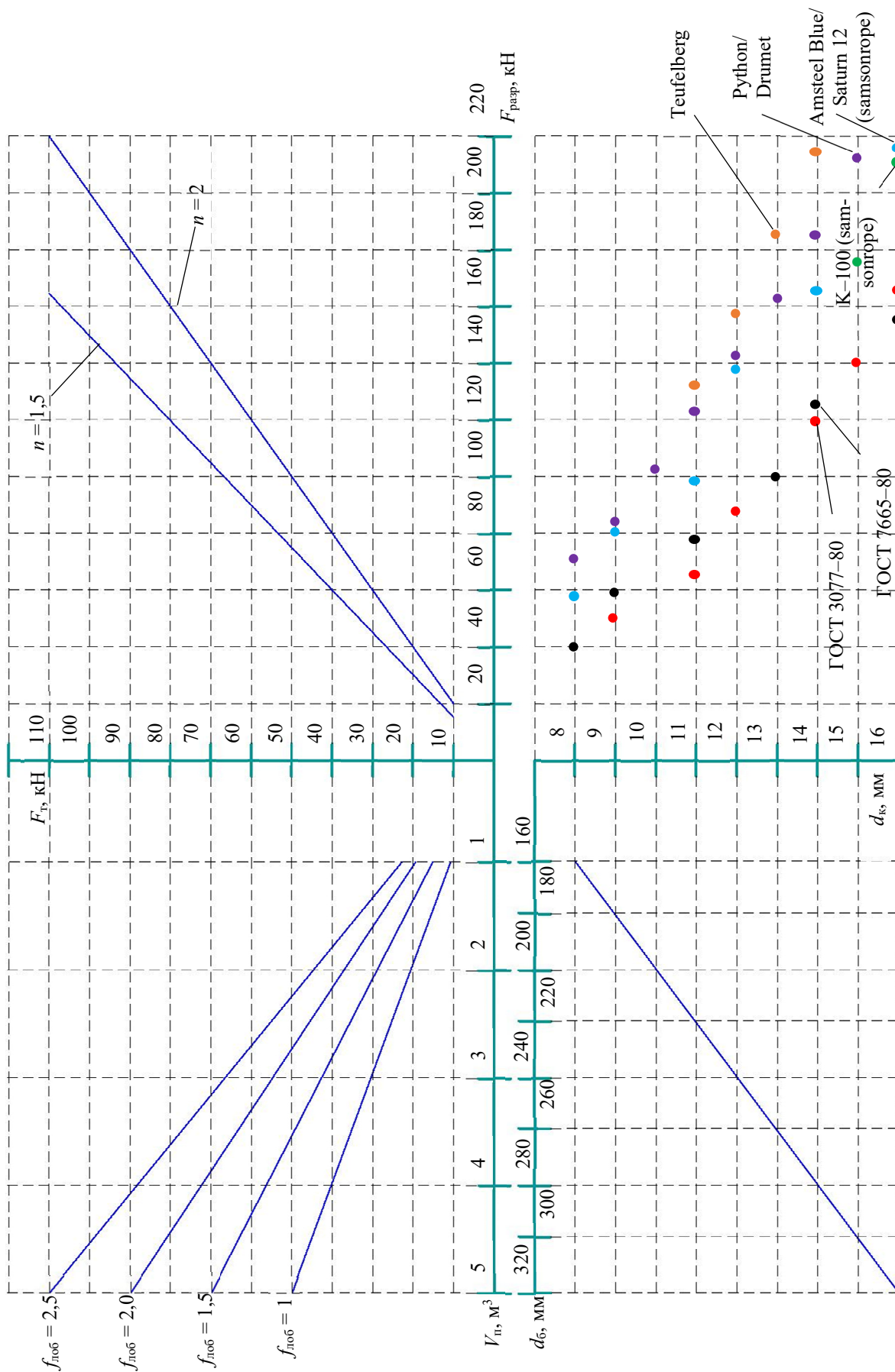


Рис. 5. Подбор параметров для барабана тягового каната при расстоянии пролета 100 м



Анализ графика (рис. 5) в четвертой четверти позволяет сделать заключение, что при одинаковых диаметрах канатов разрывные усилия в них могут отличаться в 1,5–2 раза. Наиболее эффективно применение специализированных канатов для лесной промышленности (Python, Drumet, Teufelberger). Для данной номограммы, в отличие от исследований по несущему канату, использовался заниженный коэффициент запаса прочности 1,5 и 2 по сравнению с рекомендованным 4–6 [28]. Это связано с тем, что усилия в тяговом канате при работе на заболоченных лесосеках будут достаточно сильно завышены за счет влияния лобовых сопротивлений и коэффициента  $f_{\text{лоб}}$ , который их учитывает. При использовании коэффициентов, рекомендованных для других условий, диаметры канатов и барабанов приобретают значительные величины, не позволяющие их реализовать на практике. Аналогично рис. 4 наблюдается тенденция, при которой отечественные конструкции канатов имеют более низкий по отношению к зарубежным моделям показатель соотношения диаметр – разрывное усилие.

**Определение параметров мачты.** Среди рассмотренных вариантов сечения мачты канатных трелевочных установок универсальным является квадратное коробчатое (рис. 6, а). Оно может быть получено путем сварки двух швеллеров либо цельной трубой коробчатого сечения в соответствии с ГОСТ 32931–2015 [39]. Угол между растяжками и осью симметрии мачты в плане, а также между растяжками и горизонтальной плоскостью рекомендуется принимать в диапазоне 30–60°

[15–20] (рис. 6, б, в). Для расчетов принималось среднее значение 45°.

Диаграмма, построенная на основании методики [40] (рис. 7), отражает изменения параметра сечения в зависимости от усложнения условий работы установки с помощью коэффициента лобового сопротивления (от 1 до 2,5). Также варьирование выполнено для диапазона высот мачты, характерного для установок с неподвижным несущим канатом, – от 6 до 8 м. Полученные зависимости близки к линейным.

Из графика (рис. 7) видно, что для условий, когда коэффициент  $f_{\text{лоб}} = 2$ , высота мачты  $h = 6$  м, параметр сечения  $b$  аналогичен условиям  $f_{\text{лоб}} = 1,5$ ,  $h = 8$  м. Параметр сечения при условиях  $f_{\text{лоб}} = 2$  и  $h = 8$  м выше, чем для условий  $f_{\text{лоб}} = 2,5$ ,  $h = 6$  м. Все остальные зависимости отражают последовательное увеличение параметра сечения при увеличении высоты мачты и усложнении условий подтрелевки.

В соответствии с экспериментальными исследованиями [21] при выполнении операций рабочего цикла в тяговом канате возникают усилия, изменяющиеся большую часть цикла в установившемся режиме. Неустановившийся режим наступает при прохождении пачки через препятствия. Влияние препятствий на резкий рост усилия в тяговом канате учитываются коэффициентом лобового сопротивления при его определении. Поэтому при расчете допускаемого напряжения при изгибе выбирались значения, соответствующие симметричной нагрузке для широко используемой в промышленности марки стали Ст3 при  $[\sigma] = 150$  МПа [41].

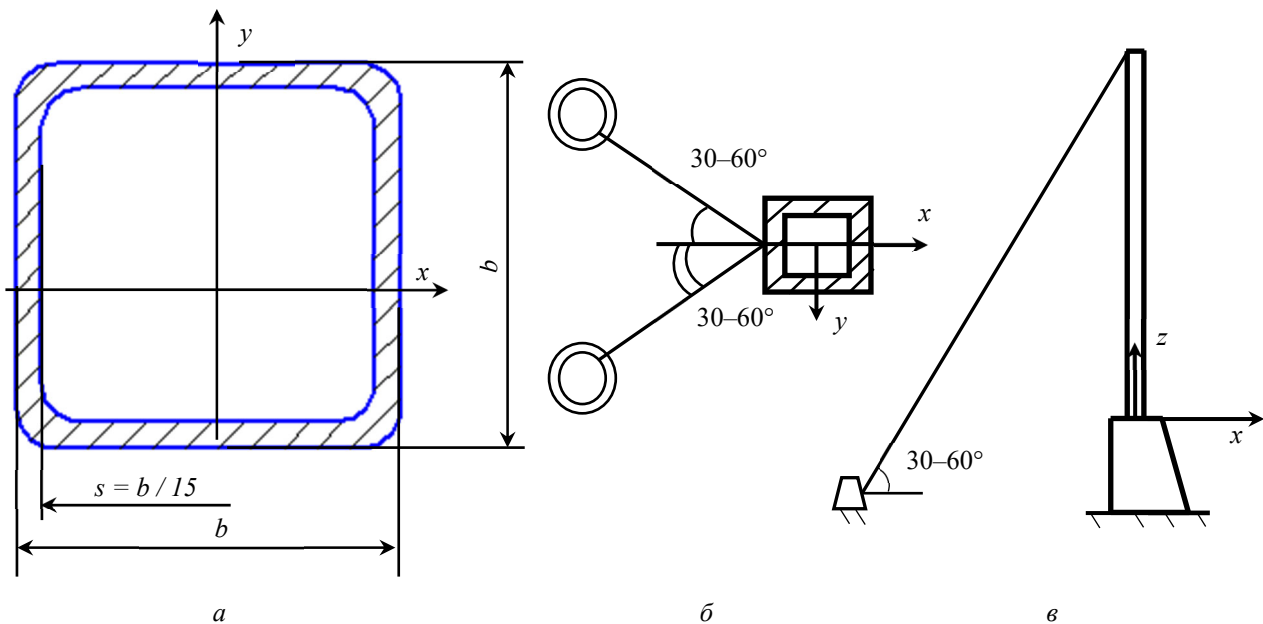
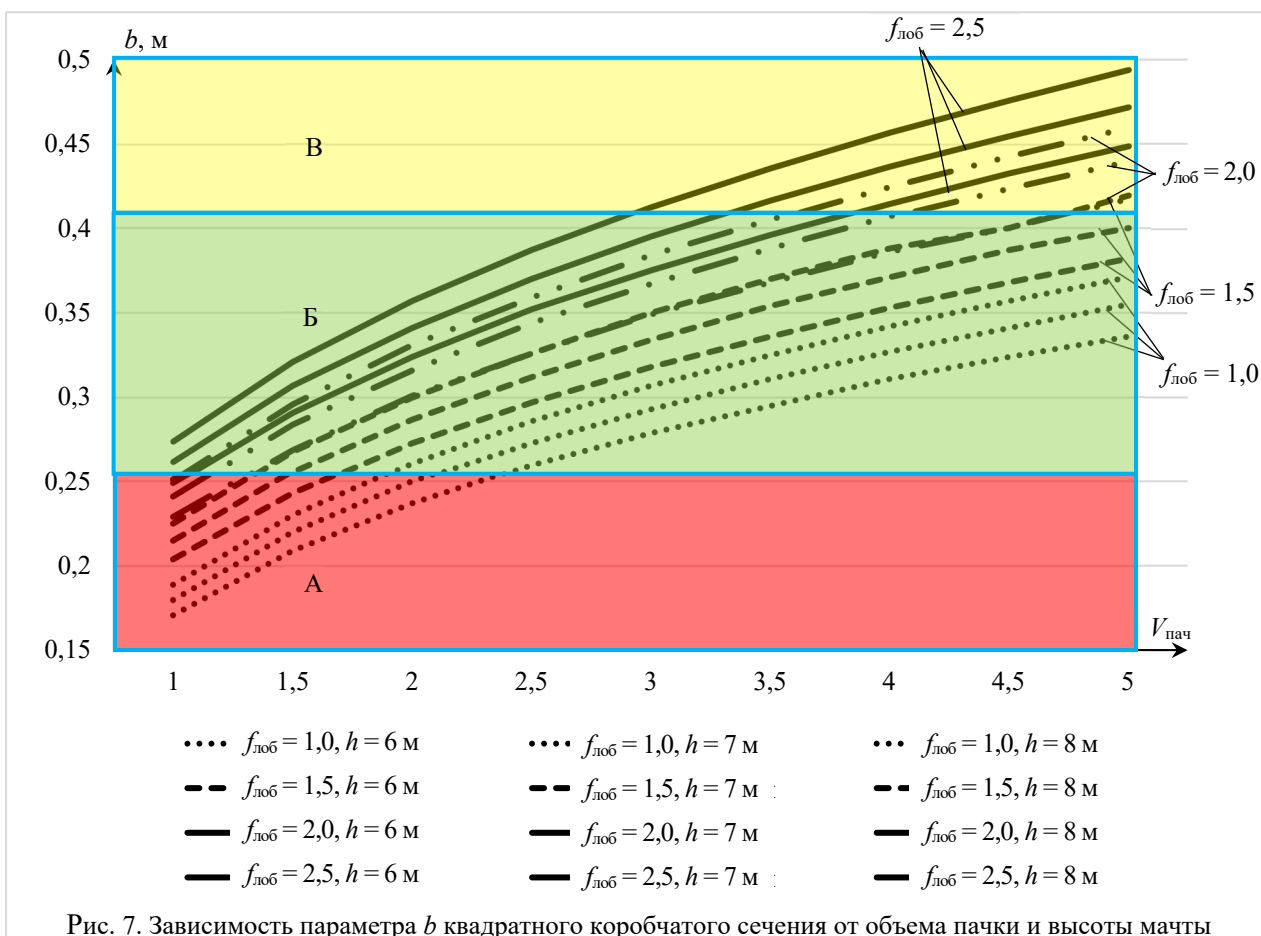


Рис. 6. Параметры мачты:  
 а – поперечное сечение; б – мачта и растяжки в плане за мачтой (растяжки перед мачтой не показаны); в – мачта и растяжка в профиле



На диаграмме (рис. 7) выделены 3 зоны: А – область, из которой не рекомендуется выбирать сечения мачты, исходя из возможной потери устойчивости конструкции и сложности обеспечения установки дополнительных элементов (блоков, лестниц) на мачте небольшого поперечного сечения; Б – область, из которой рекомендуется в первую очередь выбирать размер поперечного сечения мачты; В – область завышенных значений параметра сечения, которые рекомендуется принимать только при повышенном коэффициенте запаса прочности и значительном объеме дополнительных элементов на мачте.

**Выводы.** Полученные в данной работе результаты направлены в первую очередь на обоснованный и практикоориентированный подход в выборе параметров привода и мачты проектируемых мобильных канатных трелевочных установок. Данные параметры вместе с непредставленными результатами подбора кареток и выбора базовой машины позволят получить комплексный взгляд на будущую канатную установку.

Первоочередным шагом при проектировании мобильной канатной трелевочной установки для заболоченных лесосек должно быть грамотное и систематизированное изучение лесозаготовительной базы. Игнорирование данного пункта, с

одной стороны, может привести к завышенным параметрам, увеличению стоимости и общей массы конструкции, с другой стороны, к поломкам и травмам среди персонала.

При сопоставлении полученных параметров (рис. 3–5, 7) и параметров существующих установок могут быть получены завышенные значения параметров мощности, сечения мачты, диаметров канатов, что вызвано лесозаготовительными особенностями заболоченных лесосек и заложенным в связи с этим дополнительным запасом прочности.

Рабочие канаты (несущий, тяговый) в первую очередь необходимо выбирать из ряда специализированных канатов, разработанных для лесозаготовительной техники.

Существуют мачты и других сечений, например круглого [3], применяемые для установок со значительной высотой мачты (20–25 м). Однако такое сечение имеет большую металлоемкость по сравнению с коробчатым. Альтернативой коробчатому сечению может быть сечение, сваренное из двух швеллеров таким образом, чтобы образовалось закрытое полая сечение.

Для усредненных условий заготовки древесины на заболоченных лесосеках Республики Беларусь ( $L_{тр} = 200$  м,  $f_{лоб} = 1,5$ , скорость полуподвесной

трелевки за комли 2 м/с, скорость намотки несущего каната 1,0 м/с, высота мачты 7 м, величина пролета 100 м, объем пачки 3 м<sup>3</sup>) необходимо соблюдать следующие параметры:

– мощность привода 90 кВт;

– диаметр барабана несущего каната 360 мм;

– диаметр несущего каната 16 мм;

– диаметр барабана тягового каната 200 мм;

– диаметр тягового каната 9 мм;

– параметр сечения  $b = 0,35$  м

### Список литературы

1. Канатные установки TST // TST-Forestry. URL: <http://tst-forestry.com/seilkraeneindex> (дата обращения: 09.03.2024).
2. Канатные установки Koller // Koller Forsttechnik. URL: <https://kollergmbh.com/en/yarder> (дата обращения: 09.03.2024).
3. Канатные установки Madill // Madill equipment. URL: <https://madill.dcforystryequipment.com> (дата обращения: 09.03.2024).
4. Канатные установки Herzog // Grizzly yarders. URL: <https://www.agriculture-xprt.com/products/grizzly-model-400-yarder-combines-371632> (дата обращения: 09.03.2024).
5. Канатные установки Konrad // Konrad yarders. URL: <https://www.forsttechnik.at/products/tower-yarders/kms/km40-2> (дата обращения: 09.03.2024).
6. Канатные установки SLP Krtiny // Larix yarders. URL: <http://www.slpkrtiny.cz/ru/eieel-lner-al-nleuiinnu/elni-l-errci/elni-l-erric/larix-3t/> (дата обращения: 09.03.2024).
7. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360 – 2002. Минск: Госстандарт, 2002. 22 с.
8. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования: СТБ 1342-2002. Минск: Госстандарт, 2002. 18 с.
9. Установки канатные подвесные для лесозаготовок. Типы и основные параметры: ОСТ 13-81-80. М.: Изд-во стандартов, 1981. 7 с.
10. Машины лесозаготовительные. Машины самоходные. Требование безопасности: СТБ ЕН 14861–2007. Минск: Госстандарт, 2007. 22 с.
11. Машины для леса. Лебедки. Определения, технические требования, требования безопасности: ГОСТ 34280–2017. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2007. 15 с.
12. Барыляк В. В. Обґрунтування параметрів приводів лісотранспортних канатних установок: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. Львів, 2015. 222 л.
13. Мартынцив М. П. Исследование нагрузок на ходовые колеса грузовых кареток и их влияние на работу несущего каната: дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02. Львов, 1980. 274 л.
14. Удовичський О. М. Обґрунтування основних параметрів та розробка привода мобільної канатної лісотранспортної установки: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.07. Львів, 1999. 236 л.
15. Štollmann V., Plčík Š., Nikitin J. R. Rekuperačné lanové zariadenia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017. 171 p.
16. Horek P. Lesní lanovky. Praha: Lesnická práce, 2007. 104 p.
17. Белая Н. М., Прохоренко А. Г. Канатные лесотранспортные установки. М.: Лесная пром-сть, 1967. 299 с.
18. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.: Машиностроение, 1966. 484 с.
19. Schlaghamerský A., Roško P. Lesní vývozní lanovky. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1964. 262 p.
20. Lulay M., Wimer J. Yarding and loading. Oregon: Osha, 2010. 164 p.
21. Шошин А. О. Экспериментальные исследования мобильной канатной трелевочной установки в равнинных условиях // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 121–132. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-13.
22. Ходосовский М. В. Исследование проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 1968. 276 л.
23. Алышев И. Ф. Исследование сопротивления движению при трелевке лебедками ТЛ-3 полуподвесным способом: автореф. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 1953. 15 с.
24. Коротяев Л. В. Исследование сопротивления движению при трелевке леса: автореф. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Свердловск, 1970. 32 с.
25. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период / А. О. Шошин [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–27 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 72–76.
26. Spinelli R., Maganotti N., Visser R. Productivity Models for Cable Yarding in Alpine Forests // Eur. J. Forest Eng. 2015. No. 1 (1). P. 9–14.

27. Senturk N., Ozturk T., Demir M. Productivity and costs in the course of timber transportation with the Koller K300 cable system in Turkey // *Building and Environment*. 2007. No. 42. P. 2107–2113.

28. Кусакин Н. Ф., Минаков И. Ф., Носиков А. А. Стальные канаты на лесозаготовках. М.: Лесная пром-сть, 1982. 136 с.

29. Python wire ropes. Product catalog high performance ropes edition 2019/2020.

30. Teufelberger wire ropes // Teufelberger. Redaelli. URL: <https://www.teufelberger.com/en/products-services/construction.html> (date of access: 09.03.2024).

31. Vornbaumen wire ropes // Vornbaumen. URL: <https://makkee.com/en/product/vornbaumen/> (date of access: 09.03.2024).

32. Drumet wire ropes // WireCO. URL: <https://www.drumet.pl/applications/druforest-forestry-logging> (date of access: 09.03.2024).

33. Канат двойной свивки типа ЛК-3 конструкции 6×25: ГОСТ 7665–80. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. 8 с.

34. Канат двойной свивки типа ЛК-3 конструкции 6×25: ГОСТ 7667–80. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. 8 с.

35. AmSteel wire ropes // Samson. URL: <https://www.samsonrope.com/crane> (date of access: 09.03.2024).

36. Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19: ГОСТ 2688–80. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. 12 с.

37. Канат двойной свивки типа ЛК-О конструкции 6×19: ГОСТ 3077–80. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. 8 с.

38. Канат двойной свивки типа ЛК-РО конструкции 6×36(1+7+7/7+14)+1 о.с. ГОСТ 7668–80. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. 12 с.

39. Трубы стальные профильные для металлоконструкций: ГОСТ 3293–2015. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. 81 с.

40. Методика определения параметров сечения мачты мобильной канатной трелевочной установки на базе трактора / А. О. Шошин [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2022. № 1 (252). С. 155–164.

41. Допускаемые напряжения // Алекс-проект. URL: [https://alexfl.pro/inform/inform\\_stali4.html](https://alexfl.pro/inform/inform_stali4.html) (дата обращения: 09.03.2024).

## References

1. Cable yarders TST. Available at: <http://tst-forestry.com/seilkraeneindex> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

2. Cable yarders Koller. Available at: <https://kollergmbh.com/en/yarder> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

3. Cable yarders Madill. Available at: <https://www.madillequipment.com/172-tower-yarder.php> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

4. Cable yarders Grizzly. Available at: <http://www.forst-service.com/Grizzly%20400-Yarder.htm> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

5. Cable yarders Konrad. Available at: <https://www.forsttechnik.at/products/tower-yarders/kms/km40-2> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

6. Cable yarders SLP Krtiny. Available at: <http://www.slpkrtiny.cz/ru/eieel-lner-al-nleuiinnu/elni-l-errci/elni-l-erric/larix-3t/> (accessed 09.03.2024) (In Russian).

7. STB 1360–2002. Sustainable forest management and forest use. Final fellings. Technology requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2002. 22 p. (In Russian).

8. STB 1342–2002. Sustainable forest management and forest use. Forest cutting machines. General technical requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2003. 18 p. (In Russian).

9. OST 13-81–80. Cable yarding systems. Types and main parameters. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1981. 7 p. (In Russian).

10. STB EN 14861–2007. Forest machinery. Selfpropelled machinery. Safety requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2007. 22 p. (In Russian).

11. GOST 34280–2017. Machinery for forestry. Winches. Dimensions, performance and safety. Moscow, Mezhsudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2017. 15 p. (In Russian).

12. Barylyak V. V. *Obgruntovannyya parametriv privodiv lisotransportnykh kanatnykh ustanovok. Dissertatsiya kandidata technichnykh nauk* [Justification of the drive parameters of cable yarding systems. Dissertation PhD (Engineering)]. Lviv, 2015. 222 p. (In Ukrainian).

13. Martynciv M. P. *Issledovaniye nagruzok na khodovyie koleasa gruzovykh karetok i ikh vliyaniye na rabotu nesushchego kanata. Dissertatsiya kandidata technicheskikh nauk* [Study of loads on the running wheels of carriages and their impact on the operation of the skyline. Dissertation PhD (Engineering)]. Lviv, 1980. 274 p. (In Russian).

14. Udovitskiy O. M. *Obgruntuvannya osnovnykh parametriv ta rozrobka pryvoda mobil'noi kanatnoi lisotransportnoi ustanovki. Dissertatsiya kandidata tekhnichnykh nauk* [Substantiation of the main parameters and development of the drive of the cable yarding system. Dissertation PhD (Engineering)]. Lviv, 1999. 236 p. (In Ukrainian).
15. Štollmann V., Ilčík Š., Nikitin J. R. *Rekuperáčné lanové zariadenia*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene Publ., 2017. 171 p. (In Slovak).
16. Horek P. *Lesní lanovky*. Praha, Lesnická práce Publ., 2007. 104 p. (In Czech).
17. Belaya N. M., Prokhorenko A. G. *Kanatnyye lesotransportnyye ustanovki* [Cable yarding systems]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 299 p. (In Russian).
18. Dukelskiy A. I. *Podvesnyye kanatnyye dorogi i kabelnyye krany*. Moscow, Mashinocroyeniye Publ., 1966. 484 p.
19. Schlaghamerský A., Roško P. *Lesní vývozní lanovky*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství Publ., 1964. 262 p. [In Czech].
20. Lulay M., Wimer J. *Yarding and loading. Handbook*. Oregon, Osha Publ., 2010. 164 p.
21. Shoshyn A. O. Experimental researches of the cable yarder in flat cutting areas. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 121–132. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-13 (In Russian).
22. Khodosovsky M. V. *Issledovaniye prokhodimosti khlystov pri polupodvesnoy trelevke lebedkami. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Research stems patency at high lead yarding winches. Dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 1968. 276 p. (In Russian).
23. Alyshev I. F. *Issledovaniye soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lebedkami TL-3 polupodvesnym sposobom. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Resistance movement study yarding winch TL-3 semi-overhead way. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 1953. 15 p. (In Russian).
24. Korotyaev L. V. *Issledovaniye soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lesa. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Study of the resistance movement at the timber yarding. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Sverdlovsk, 1970. 32 p. (In Russian).
25. Shoshyn A. O., Protas P. A., Mokhov S. P., Grechko V. V. Study of the cable crane tree-skidding process on swampy logging sites in the winter season. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of first International scientific-technical conference]. Minsk, 2017, pp. 72–76 (In Russian).
26. Spinelli R., Maganotti N., Visser R. Productivity Models for Cable Yarding in Alpine Forests. *Eur. J. Forest Eng.*, 2015, no. 1 (1), pp. 9–14.
27. Senturk N., Ozturk T., Demir M. Productivity and costs in the course of timber transportation with the Koller K300 cable system in Turkey. *Building and Environment*, 2007, no. 42, pp. 2107–2113.
28. Kusakin N. F., Minakov I. F., Nosikov A. A. *Stal'nyye kanaty na lesozagotvokakh* [Steel ropes in logging]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 136 p. (In Russian).
29. Python wire ropes. Product catalog high performance ropes edition 2019/2020.
30. Teufelberger wire ropes. Available at: <https://www.teufelberger.com/en/perfection-f30-woodrunner.html> (accessed 09.03.2024).
31. Vornbaumen wire ropes. Available at: <https://www.vornbaeumen.de/en/products/special-ropes/forestry-ropes.html> (accessed 09.03.2024).
32. Drumet wire ropes. Available at: <https://www.drumet.pl/applications/druforest-forestry-logging> (accessed 09.03.2024).
33. GOST 7665–80. Double lay rope type LK-3, design 6×25. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1982. 8 p. (In Russian).
34. GOST 7667–80. Double lay rope type LK-3, design 6×25. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1982. 8 p. (In Russian).
35. AmSteel wire ropes. Available at: <https://www.samsonrope.com/crane> (accessed 09.03.2024).
36. GOST 2668–80. Double lay rope type LK-R, design 6×19. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1982. 12 p. (In Russian).
37. GOST 3077–80. Double lay rope type LK-O, design 6×19. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1982. 8 p. (In Russian).
38. GOST 7668–80. Double lay rope type LK-RO, design 6×36(1+7+7/7+14)+1. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1982. 12 p. (In Russian).
39. GOST 32931–2015. Profile steel pipes for metal structures. Moscow, Mezhhgosudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2015. 81 p. (In Russian).
40. Shoshyn A. O., Dorozhko A. V., Štollmann V., Yarmolik S. V. Method for determining the parameters of the tower section of a cable yarding based on a tractor. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU],

issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 1 (252), pp. 155–164 (In Russian).

41. Permissible stresses. Available at: [https://alexfl.pro/inform/inform\\_stali4.html](https://alexfl.pro/inform/inform_stali4.html) (accessed 09.03.2024) (In Russian).

### Информация об авторах

**Шошин Артем Олегович** – старший преподаватель кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [raul777gol@mail.ru](mailto:raul777gol@mail.ru), [shoshyn@belstu.by](mailto:shoshyn@belstu.by)

**Штолманн Владимир** – кандидат технических наук, доцент кафедры лесозаготовок, логистики и мелиорации. Технический университет в Зволене (ул. Масарика, 24, 96001, г. Зволен, Словацкая Республика). E-mail: [stollmannv@tuzvo.sk](mailto:stollmannv@tuzvo.sk)

**Ярмолик Сергей Васильевич** – старший преподаватель кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [yarmolik@belstu.by](mailto:yarmolik@belstu.by), [sv.ya@tut.by](mailto:sv.ya@tut.by)

### Information about the authors

**Shoshyn Artsiom Alegavich** – Senior Lecturer, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [raul777gol@mail.ru](mailto:raul777gol@mail.ru), [shoshyn@belstu.by](mailto:shoshyn@belstu.by)

**Štollmann Vladimir** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Forest Harvesting, Logistics and Soil/Land Ameliorations. Technical University in Zvolen (24 Masaryka str., 96001, Zvolen, Slovak Republic). E-mail: [stollmannv@tuzvo.sk](mailto:stollmannv@tuzvo.sk)

**Yarmolik Sergey Vasil'evich** – Senior Lecturer, the Department of Material and Construction Mechanics. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [yarmolik@belstu.by](mailto:yarmolik@belstu.by).

*Поступила 11.11.2024*