

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА РУБКИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

В.В. Никитин¹, А.В. Скрыпников², В.Г. Козлов³✉,
Е.В. Михайленко⁴, Ю.Н. Пильник⁴, Д.Г. Козлов³, Р.С. Сапелкин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁴ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

vya-kozlov@yandex.ru

Представлен широкий анализ влияния видов вырубок при определении оптимальных расстояний транспортировки леса с учетом способов ведения лесного хозяйства и видов рубок представлены и обоснованы удельные затраты на первичную транспортировку леса, а также проведен подбор схем рубок главного пользования. Определена целевая функция, являющаяся основной частью математической модели и включающая в себя все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог. Сделан вывод о том, что поиск оптимального расстояния до места назначения сводится к выполнению машины не только транспортных, но и технологических операций, которые, в свою очередь, не влияют на значение переменной части удельных затрат и первичную транспортировку леса в том случае, если это не вызывает увеличения стоимости тракторосмены или снижения полезной нагрузки. Расчеты показали, что высокомеханизированные методы являются более эффективными, так как удельные денежные затраты на весь комплекс лесосечных работ по схемам не превышают 20 %. Целесообразность применения какой-либо из технологических схем лесозаготовок зависит от конкретных условий лесозаготовки.

Ключевые слова: лесозаготовка, трелевка, лесовозные автомобильные дороги, лесосека, транспортировка

Ссылка для цитирования: Никитин В.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Михайленко Е.В., Пильник Ю.Н., Козлов Д.Г., Сапелкин Р.С. Математическое обоснование влияния вида рубки главного пользования на удельные затраты // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 110–119.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119

Разработанные в настоящее время методы оценки технико-эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог и существующие критерии оценки состояния, требуют больших затрат времени на их определение, хотя и позволяют с достаточной точностью определить состояние отдельных элементов дороги, наметить путь устранения выявленных неисправностей и определить объемы работ по их устранению. Отличительной особенностью лесозаготовительного транспорта является одновременная эксплуатация разветвленной сети дорог различных категорий, эксплуатационные характеристики которых меняются в зависимости от погодных условий, передислокации мест рубок, интенсивности движения и других факторов. Поэтому существующие способы оказываются малопригодными для оперативной оценки технико-эксплуатационного состояния при планировании работ.

Цель работы

Цель работы — разработка математического обоснования влияния способов ведения лесного хозяйства и видов рубок главного пользования на удельные затраты на транспортировку леса.

Методика исследования

При исследовании вопроса оптимизации расстояний между путями лесотранспорта в специфических условиях лесозаготовок, встречающихся в России необходимо принимать во внимание следующие основные положения.

1. При разработке методики расчета особое внимание необходимо уделить учету природных факторов и требованиям лесоустройства с позиции влияния способов ведения лесного хозяйства и применяемых видов рубок главного пользования на оптимальные расстояния между путями первичной и вторичной транспортировки леса [1].

2. При концентрации лесозаготовительных работ в пределах той или иной территории важно предусмотреть длительный срок службы путей. Даже трелевочные волоки в этих условиях можно использовать от одного года до нескольких лет, а лесовозные автомобильные дороги — в течение длительных сроков, порядка нескольких десятилетий.

3. При активной лесозаготовке в течение всего периода лесотранспортная дорожная сеть должна обеспечивать не только транспортировку леса, но и выполнение соответствующих лесохозяйственных и промышленных мероприятий.

При определении оптимальных расстояний для лесотранспорта следует исходить из принципа нахождения минимума переменной части затрат, отнесенных к 1 м³ лесопродукции. При этом удельные затраты в связи с длительным сроком службы путей транспортировки относят к годовому размеру лесопользования, определяемому средним годовым приростом [2]

$$Q = \sum_1^n \frac{\sum M_i}{A_i}, \quad (1)$$

где Q — средний прирост всех древостоев, м³;
 $\sum M_i$ — сумма запасов каждого класса возраста, м³;
 A_i — возраст, соответствующий середине классов возраста, лет.

С учетом формулы (1) продуктивность лесов, рассчитанная на ближайший хозяйственный период (обычно 10 лет), можно выразить формулой

$$P = \frac{Q}{EP}, \quad (2)$$

где Q — средний прирост всех древостоев, м³;
 EP — общая площадь лесного массива, га.

С учетом распределения запасов по классам возраста в условиях республики Коми, составлена наглядная диаграмма, характеризующая продуктивность лесонасаждений (рис. 1).

Оптимизация транспортной сети путей, рассчитанных на длительный срок действия, требует особого внимания к учету затрат, связанных с их содержанием в исправности и ремонтом.

При этом не каждый километр пути может находиться в ежегодной эксплуатации. Кроме того, пути, как правило, используются повторно. К тому же имеют место перерывы в вывозке леса, поэтому важно обеспечить нормальные условия работы при выполнении иных лесохозяйственных работ и других мероприятий в это время [3–6].

С учетом указанного выше для дальнейшего анализа принимается схема путей транспорта леса, состоящая из тракторных пасечных и магистральных волоков, непосредственно примыкающих к веткам, которые, в свою очередь, примыкают к магистральным лесовозным автомобильным дорогам. Временные пути транспорта леса (усов) в этой системе не предусмотрены.

Способ ведения лесного хозяйства определяет вид применяемых рубок главного пользования. В настоящее время это в основном сплошные рубки, а также, особенно в горных районах, постепенные и выборочные рубки [7].

Рубки главного пользования проводятся в размере не выше среднего годичного прироста. По классификации, используемой в России, сплошные рубки относятся к узколесосечным. При максимальной длине лесосеки, отводимой к вырубке,

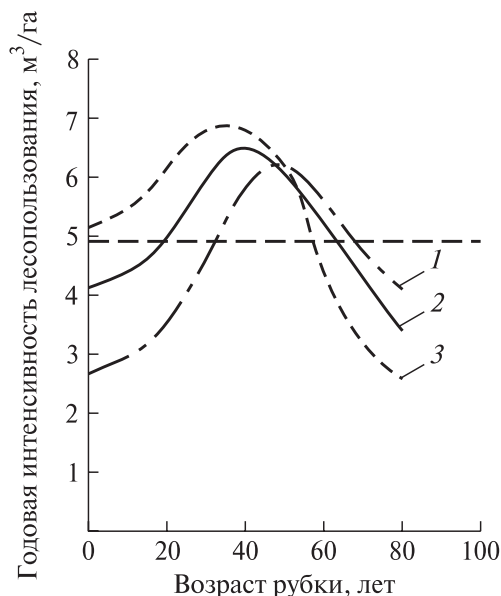


Рис. 1. Интенсивность лесопользования, позволяющая определить среднюю продуктивность древостоев на протяжении полного оборота рубки: 1 — 100-летнего; 2 — 110-летнего; 3 — 120-летнего

Fig. 1. Intensity of forest management, which makes it possible to determine the average productivity of forest stands over the course of a full cycle of felling: 1 — 100-year; 2 — 110 years old; 3 — 120 years old

500...600 м ее другие параметры принимают по правилам ведения лесного хозяйства. При отводе лесосек под сплошную узколесосечную рубку в каждом конкретном случае устанавливают размер и форму лесосеки, направление рубки, срок примыкания и способ лесовосстановления на вырубке. Если выдел спелого леса небольшой, его вырубает полностью, какой бы формы он не был.

Правилами принято обозначать сплошные рубки цифрой 1, постепенные — 2, а выборочные — 3. Буквы стоящие при цифрах относятся к различным типам рубок данной группы, которые выбирают с учетом условий лесовозобновления на вырубке (табл. 1, табл. 2).

За основу расположения лесосек принимается квартальная сеть, направление сторон которой предусматривает наиболее целесообразное направление лесосек, т. е. направление их длинной стороны относительно сторон света. Направление лесосеки зависит от климатических факторов данного района и в первую очередь от количества света и тепла. В северных и северо-западных районах европейской части России целесообразно располагать лесосеку ее длинной стороной с севера на юг, исходя из того, что в полуденные часы вся площадь вырубке будет полностью освещаться солнечными лучами и почва будет прогреваться на большую глубину, что улучшает процессы разложения лесного опада и рост всходов древесных пород.

Т а б л и ц а 1

Параметры для сплошных рубок

Parameters for clear cuttings

Тип рубки	Ширина лесосеки $l_{ш}$, м	Максимальная площадь лесосеки, га
1а	60...80	До 6,0
1в	40...60	До 4,0
1с	15...30	До 2,0

Т а б л и ц а 2

Параметры для постепенных рубок

Parameters for gradual felling

Тип рубки	Ширина манипуляционной площади, м	Максимальная манипуляционная площадь, га
2а	До 90	До 6,0
2в	До 150	До 10,0
2с	До 150	До 10,0

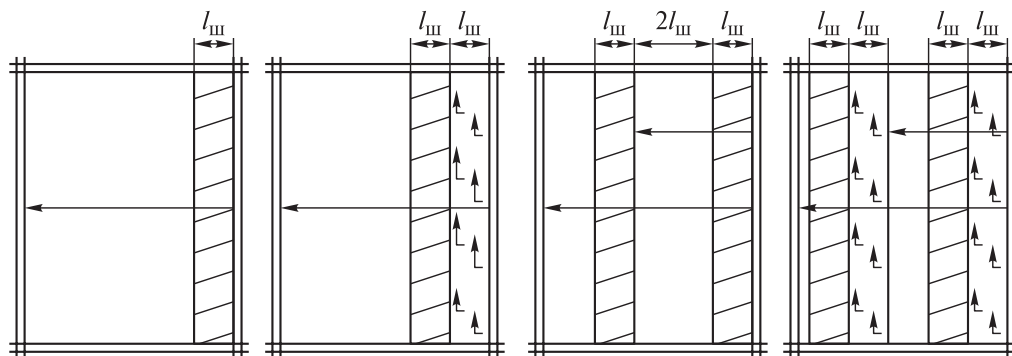


Рис. 2. Схемы сплошных рубок (стрелками указано направление рубки): *а* — с непосредственным примыканием лесосек через 3–5 лет; *б* — с кулисным примыканием, т. е. через полосу, равную двойной ширине лесосеки

Fig. 2. Schemes of clear cuttings (arrows indicate the direction of felling): *a* — with direct adjoining cutting areas in 3–5 years; *b* — with a strip connection, i.e. through a strip equal to the double width of the cutting area

Направление вырубki зависит в основном от господствующих ветров, а поскольку это западные ветры, то рубки должны быть направлены с востока на запад, т. е. против господствующих западных ветров [8]. В этом случае разлет семян от стены леса будет происходить преимущественно на вырубку, а сама стена леса не будет подвержена воздействию ветра, следовательно, не будет происходить ветровал деревьев на границе леса и вырубki. В горных условиях применяются постепенные и выборочные рубки. В этих условиях рубки леса узкими сплошными лесосеками допустимы лишь на пологих склонах с глубокими и хорошо дренированными почвами. В горах лесосеки для сплошных рубок отводят, как правило, длинными сторонами вдоль горизонталей, а направление рубки — с учетом местных ветров преимущественно снизу вверх по склону. На склонах, подвергающихся эрозии, принимается направление рубки сверху вниз по склону. При направлении лесосек вдоль горизонталей могут возникнуть трудности при валке и трелевке леса и поэтому иногда лесосеки располагают вдоль склона, применяя канатные установки или подтаскивание деревьев с помощью тросовых лебедок к дорогам или трелевочным волокам.

Кроме ширины лесосек, их расположения относительно меридиана и направления рубки уста-

навливают способ примыкания и срок примыкания лесосек. При непосредственном примыкании новая лесосека отводится рядом с предыдущей, через полосу леса такой же ширины, а при кулисном примыкании новая лесосека отводится через полосу леса, равную двойной ширине лесосеки. В полосе леса или кулисе проводится вырубка леса сплошными лесосеками определенных размеров с 10-летним сроком примыкания друг к другу. Наиболее распространенным способом является непосредственное примыкание, так как в этом способе не нарушается целостность оставшегося леса и он в меньшей степени подвергается воздействию неблагоприятных факторов (ветровалу) и т. п. [9]

Следующим важным фактором являются сроки примыкания лесосек, зависящие от целевого назначения леса, вида древесных пород, условий лесовосстановления. Многолетним опытом ведения сплошнелесосечных рубок для сосновых, лиственничных, еловых, пихтовых, дубовых и лесов других твердолиственных пород установлен 3–5-летний срок примыкания лесосек, а в лесах мягколиственных пород — 1–2-летний (рис. 2).

Ведение лесного хозяйства с применением постепенных и выборочных рубок имеет своей целью быстрое и успешное получение естественного возобновления леса наиболее соответствующего

ющими для данного типа леса породами. При постепенных рубках древостой вырубает не сплошь, а в несколько приемов — через определенные промежутки времени. При постепенных рубках древостой может вырубаться с равномерной по площади выборкой деревьев и с неравномерной выборкой (группами): по схеме рубок типа 2а, т. е. при ширине манипулярной площади (лесосеки) до 90 м, разрабатываемой в три приема, с разбивкой на три 30-метровые полосы, и по схеме рубок типа 2в, т. е. при ширине манипулярной площади 150 м [10–13].

Кроме равномерно-постепенных рубок имеются групповые или котловинные рубки, характеризующиеся неравномерной выборкой деревьев. К этим относятся группово-постепенные и группово-выборочные рубки.

Сущность этих рубок состоит в том, что древостой вырубается в несколько приемов, постепенными группами в течение двух классов возраста (за 30...40 лет).

Следует отметить, что примыкание лесосек во всех случаях для постепенных рубок непосредственное.

При разработке схемы узколесосечных рубок особое значение имеет определение расстояния между соседними лесосеками. Для этой цели при установленных в процессе лесоустройства ширине лесосеки ($l_{лс}$) и сроку примыкания лесосек (u) расстояние для данного возраста рубки (k) может быть определено по формуле [14]

$$Z = \frac{l_{лс} \cdot k}{u} \quad (3)$$

В формуле (3) отношение $\frac{l_{лс}}{u}$ равно ширине годовой лесосеки и оно выражает скорость, с которой проводятся рубки в древостое на протяжении полного оборота.

На схемах рубок (рис. 3) штриховкой отмечены лесосеки одного года рубки и стрелками указано направление рубки, а также расстояние между соседними лесосеками. Если для этих обоих вариантов разработать схемы путей для первичной транспортировки, то можно убедиться, что при одинаковом расстоянии между путями ($l_{пб}$), чем меньше ширина лесосеки, тем больше протяженность путей, находящихся в одновременной эксплуатации [14–16].

Следовательно, при постепенных и выборочных рубках потребуется более густая сеть путей, находящихся в одновременной эксплуатации, хотя с увеличением протяженности этих путей их грузооборот будет уменьшаться. Из этого следует, что при определении оптимальных расстояний между путями первичной транспортировки необходимо учитывать параметры лесосеки и виды

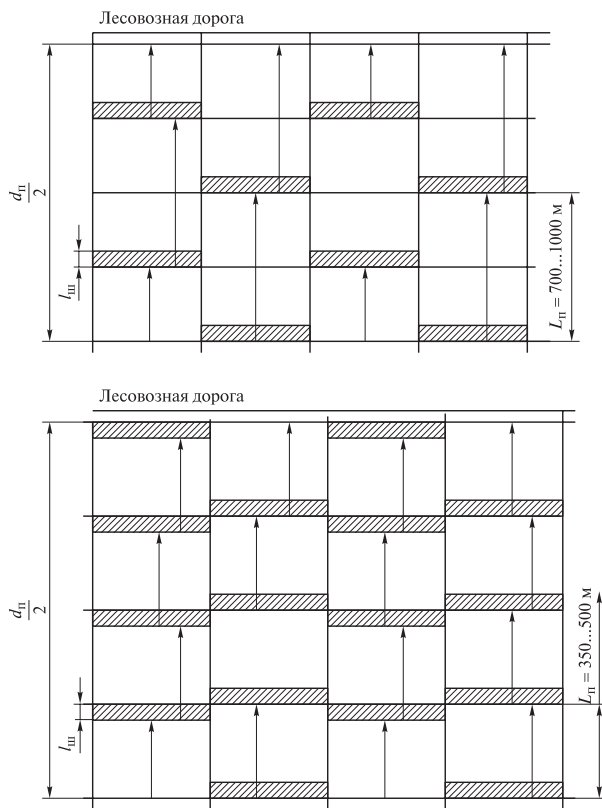


Рис. 3. Основные схемы рубок главного пользования (стрелками указано направление рубки)

Fig. 3. Main final felling schemes (arrows indicate felling direction)

рубок, которые влияют на протяженность путей, находящихся в одновременной эксплуатации, а значит, на затраты на их строительство и содержание. На затраты также оказывает влияние срок примыкания лесосек. Кроме того, можно сделать вывод о том, что при выводе формулы для определения оптимальных расстояний между путями первичной транспортировки леса важен срок службы этих путей. При назначении сети путей постоянного типа сроки примыкания лесосек и их размеры не окажут такого большого влияния. Однако при определении оптимального расстояния между ветками постоянного типа следует учитывать затраты на содержание и исправность путей первичной транспортировки, которые влияют на установление искомого параметра.

Разнообразие размеров лесосек, их видов и распределения по лесному массиву, а также разнообразие рельефа местности требует применения соответственных схем размещения трелевочных волоков. Схемы сплошных рубок, при различных способах расположения лесосеки по отношению к лесовозной автомобильной дороге могут быть рекомендованы и для постепенных рубок (рис. 4). В частности, на рис. 4, в представлена известная диагональная схема волоков при ее использовании для котловинных рубок. Отметим, что как

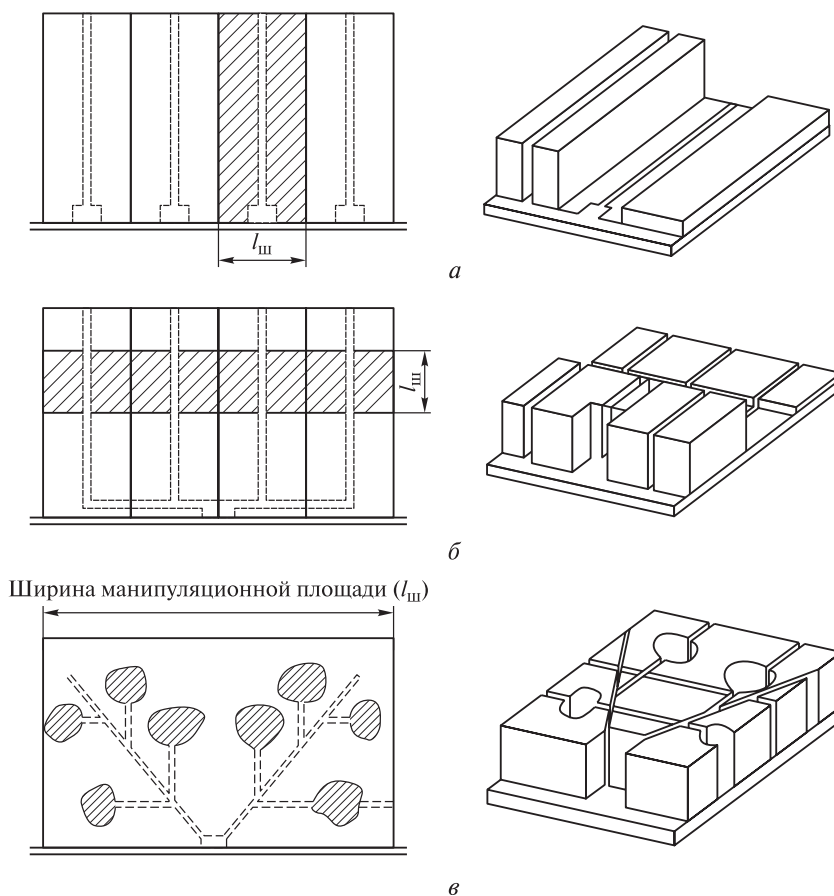


Рис. 4. Схемы трелевочных волоков для равнинной местности: *а, б* — схемы сплошных рубок, при различных способах расположения лесосеки по отношению к лесовозной автомобильной дороге; *в* — диагональная схема волоков при ее использовании для котловинных рубок

Fig. 4. Schemes of skid trails for flat terrain: *a, б* — schemes of clear cutting, with different ways of arranging a cutting area in relation to a logging road; *в* — diagonal scheme of portages when used for hollow cuttings

в равнинной, так и горной местностях волоки используются в течение нескольких лет. Исключением является схема волоков на рис. 4, *а*.

При разработке схем размещения трелевочных волоков для горных условий (рис. 5) учитывались следующие требования:

- а) обеспечение освоения массива трелевочными тракторами;
- б) уменьшение повреждений, возникающих в лесу при трелевке до размеров лесных хозяйств;
- в) обеспечение наиболее выгодных условий труда;
- г) учет других, в том числе лесохозяйственных и лесозащитных мероприятий.

Схемы для сплошных рубок (рис. 5) в горной местности с уклонами 150...300 %. Трассы на этих схемах проходят под углом меньше 90° к максимальному спуску. Границы грузопотоков расположены так, что расстояние трелевки снизу вверх как более благоприятное с точки зрения уменьшения повреждений в древостое больше, чем расстояние сверху вниз. Схема для котло-

винных рубок (см. рис. 5) в местности с уклоном меньше 150 % отражает расположение волоков под углом меньше 90°.

На рис. 6 представлены трассы для канатных установок. На схеме 6, *а, б* и *в* предусматривается проводить трелевку в местности со склонами 180...800 %. С помощью канатной установки трелевка производится с части эксплуатационной площади расположенной выше лесовозной автомобильной дороги в полностью погруженном положении, а ниже дороги — полуподвешенным способом. Все эти схемы не исчерпывают большого количества возможных вариантов, однако при узких лесосеках они будут применяться наиболее часто.

При оптимизации расстояний между путями лесотранспорта важное значение имеют расходы на первичную транспортировку леса. В связи с внедрением новых машин на лесозаготовках и разработкой новых видов технологии лесозаготовок представляет интерес проведение анализа влияния технологии лесозаготовительного процесса

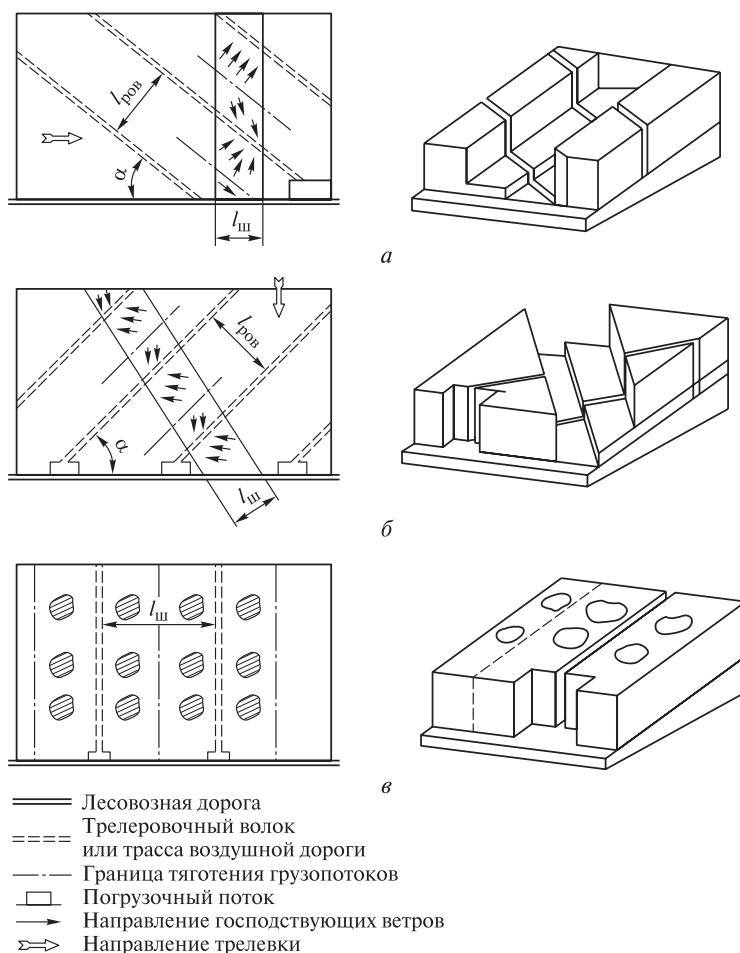


Рис. 5. Схемы трелеровочных волоков в горной местности: *а, б* — схемы для сплошных рубок; *в* — схема для котловинных рубок
Fig. 5. Schemes of skidding trails in mountainous areas: *а, б* — schemes for clear cuttings; *в* — scheme for group fellings

на оптимизацию расстояний между путями лесотранспорта. В зависимости от особенностей применяемой технологии некоторые операции можно проводить в различной последовательности.

В последнее время наряду с внедрением комплексной лесозаготовительной техники осуществляется усовершенствование применяемой технологии с использованием опыта стран с наиболее развитым лесозаготовительным производством. Этот процесс охватывает четыре основные технологические операции: валку, обрубку сучьев, раскряжевку и окороку, а также такую транспортную операцию, как трелевка (или подвозка) леса, с которой тесно связаны погрузка и разгрузка.

Лесосечные работы являются наиболее трудоемкими из комплекса лесозаготовительных. Кроме того, они усложнены большим разнообразием лесных сортиментов и зависят от организации всего процесса.

Мировая практика развития технологии лесосечных работ показывает, что в любой период развития лесозаготовительной промышленности

технологию лесозаготовок определяет одна из основных лесозаготовительных операций. Выбор места и способ выполнения именно этой операции является в течение многих лет решающим для всего технологического процесса и оказывает очень большое влияние на техническую сторону лесозаготовительной промышленности в целом. В результате механизации отдельных операций лесозаготовок, совершенствования технологии и организации труда, трудоемкость лесосечных работ по абсолютной величине снижается, однако при небольших размерах лесосек и необходимости сбора леса с большой территории решить проблему механизации лесозаготовок достаточно сложно. Наибольшие трудности вызывает низкая концентрация производства, которую можно повысить путем увеличения размеров лесосек или перенесением из лесосеки некоторых технологических операций. Отметим, что вопросу размеров лесосеки требуется глубокая, длительная и комплексная разработка, что не является темой настоящего исследования.

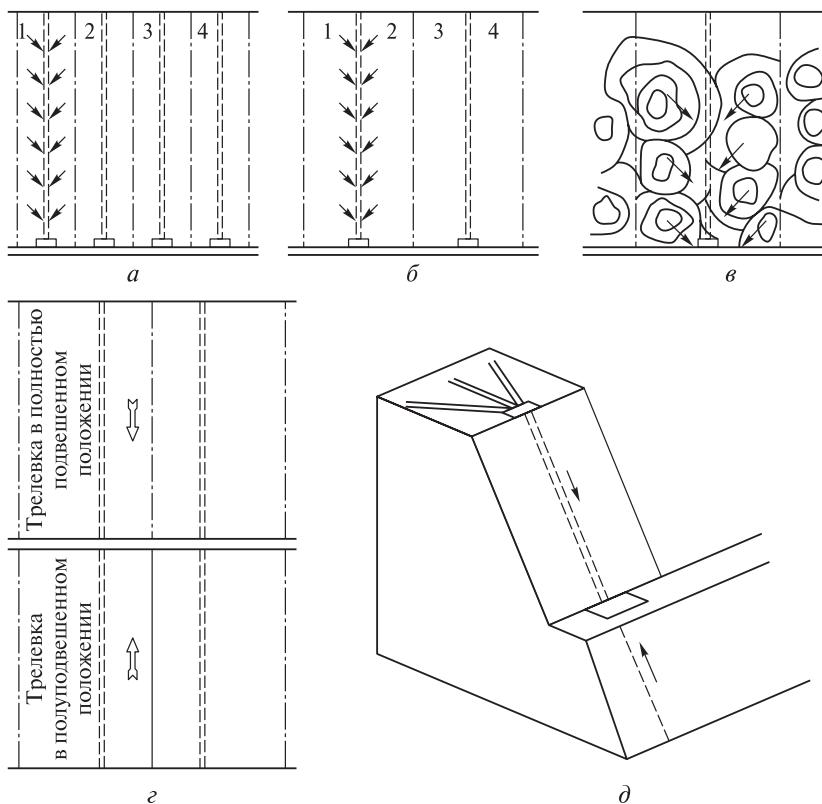


Рис. 6. Схемы трелевки с использованием канатных установок: *a* — трасса предусмотрена для вырубке леса за один прием; *б* — за два приема; *в* — трассы канатных установок рассчитаны на обеспечение транспортировки леса получаемого от котловинных рубок; *г* — комбинированная схема путей для сплошных рубок; *д* — комбинированная трелевка, т. е. на плоскогорье трележут лес канатной установкой

Fig. 6. Skidding schemes using rope installations: *a* — the route is provided for deforestation in a single action; *b* — in two actions; *в* — routes of cable installations are designed to ensure the transportation of wood obtained from group fellings; *г* — combined scheme of tracks for clear cuttings; *д* — combined skidding, i.e. on the plateau they skid the forest with a rope installation

Рассмотрим далее как формируются затраты на весь комплекс лесосечных работ при заготовке леса и в какой степени они влияют на определение оптимального расстояния между путями лесотранспорта.

Удельные затраты на первичную транспортировку леса $C_{тр}$ можно выразить формулой

$$C_{тр} = \frac{Mt_0}{T_{см} Q_{пол}}, \quad (4)$$

где M — стоимость тракторосмены трелевочного трактора, руб./м³;

$T_{см}$ — продолжительность рабочей смены за вычетом времени на подготовительно-заключительные операции и отдых рабочих, мин;

$Q_{пол}$ — полезная нагрузка на рейс, м³;

t_0 — время одного рейса трелевочного трактора, мин.

Во всех рассмотренных вариантах технологии лесозаготовок параметр t_0 определяется зависимостью

$$t_0 = t_1 + t_2 = \frac{60l_{ср}}{v_{с.т}} + t_2, \quad (5)$$

где t_1 — время пробега трелевочной машины с грузом и порожним за один рейс, мин;

t_2 — время на формирование и отцепку пачки, не зависящее от расстояния трелевки, мин;

$l_{ср}$ — среднее расстояние транспортировки, км;

$v_{с.т}$ — средняя техническая скорость движения трактора за рейс, км/ч.

Если трелевочная машина выполняет и другие технологические операции (например, валку леса), то формула (5) будет иметь вид

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3, \quad (6)$$

где t_3 — время, затраченное на валку леса для набора пачки, мин;

или

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (7)$$

где t_4 — время, затраченное на обрезку сучьев и раскряжевку на сортименты деревьев, создающих пачку, мин.

Параметры t_2, t_3, t_4 не зависят от расстояния транспортировки. Возможно также и снижение значения полезной нагрузки $Q_{пол}$ в связи с ростом собственной массы машины. Подставив в формулу (4) значения t_0 , определенные по формулам (5)–(7), получаем значения затрат $C_1 - C_3$ (руб./м³)

$$C_1 = \frac{M_1 \left(\frac{60I_{cp}}{v_{c.т}} + t_2 \right)}{T_{см} Q_{пол}}; \quad (8)$$

$$C_2 = \frac{M_2 \left(\frac{60I_{cp}}{v_{c.т}} + t_2 + t_3 \right)}{T_{см} Q_{пол}}; \quad (9)$$

$$C_3 = \frac{M_3 \left(\frac{60I_{cp}}{v_{c.т}} + t_2 + t_3 + t_4 \right)}{T_{см} Q_{пол}}, \quad (10)$$

где $M_1 - M_3$ — стоимость тракторосмены трелевочного трактора, руб./м³.

Переменная части удельных затрат, т. е. зависящая от расстояния трелевки часть расходов составит соответственно

$$C'_1 = \frac{60M_1 \cdot I_{cp}}{T_{см} Q_{пол} v_{c.т}}; \quad (11)$$

$$C'_2 = \frac{60M_2 \cdot I_{cp}}{T_{см} Q_{пол} v_{c.т}}; \quad (12)$$

$$C'_3 = \frac{60M_3 \cdot I_{cp}}{T_{см} Q_{пол} v_{c.т}}. \quad (13)$$

Выводы

Выполнение машиной не только транспортных, но и технологических операций не влияет на значение переменной части удельных затрат на первичную транспортировку леса в том случае, если это не вызовет увеличения стоимости тракторосмены M или снижения полезной нагрузки $Q_{пол}$. С увеличением времени работы трактора за один рейс t_0 вследствие выполнения им других технологических операций возрастают суммарные удельные затраты на первичную транспортировку леса. Расчеты показали, что высокомеханизированные методы являются более эффективными по сравнению с наиболее простой схемой, так как удельные затраты на весь комплекс лесосечных работ по схемам не превышает 20 %. Целесообразность назначения какой-либо технологической схемы лесозаготовок зависит в первую очередь от конкретных условий лесозаготовки.

Список литературы

- [1] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [2] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [3] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [4] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [5] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [6] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [7] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
- [8] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [9] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [10] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019, pp. 823–827.
- [11] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.
- [12] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [13] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 156–168. DOI: 10.12737/article_5b240611858af4.37544962
- [14] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства. Архангельск, 2017. 406 с.
- [15] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [16] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия — транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article_5ab0dfbe6ece23.91630316

Сведения об авторах

Никитин Владимир Валентинович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Скрыпников Алексей Васильевич — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Козлов Вячеслав Геннадиевич[✉] — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе Агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

Михайленко Екатерина Викторовна — канд. техн. наук, зав. кафедрой технологии и транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Пильник Юлия Николаевна — д-р техн. наук, профессор кафедры экологии, землеустройства и природопользования, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Козлов Дмитрий Геннадиевич — канд. техн. наук, зам. декана по трудоустройству Агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», dimvsau@mail.ru

Сапелкин Роман Сергеевич — соискатель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Поступила в редакцию 13.10.2021.

Одобрено после рецензирования 25.11.2021.

Принята к публикации 10.12.2021.

INFLUENCE OF FINAL FELLING ON COSTS PER UNIT AND IT'S MATHEMATICAL JUSTIFICATION

V.V. Nikitin¹, A.V. Skrypnikov², V.G. Kozlov^{3✉},
E.V. Mikhailenko⁴, Yu.N. Pilnik⁴, D.G. Kozlov³, R.S. Sapelkin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

³Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

⁴Ukhta State Technical University, 13, Pervomayskaya st., 169300, Ukhta, Russia

vya-kozlov@yandex.ru

A broad analysis of the influence of logging types in determining the optimal distances of forest transportation is presented. Taking into account the methods of forestry and types of logging, the specific costs of primary transportation of the forest are presented and justified, as well as the selection of final felling schemes. The objective function is defined, which is the main part of the mathematical model, including all the elements and connections of the system of feasibility study of the elements of the plan of logging roads. It is concluded that the search for the optimal distance to the destination is reduced to the performance of not only transport, but also technological operations by the machine, which in turn do not affect the value of the variable part of the unit costs and the primary transportation of the forest, if this does not cause an increase in the cost of tractor exchange or a decrease in payload. Calculations have shown that highly mechanized methods are more effective, since the specific monetary costs for the entire complex of logging operations according to the schemes do not exceed 20 %. The expediency of using any of the technological schemes of logging depends on the specific conditions of logging.

Keywords: logging, skidding, logging roads, logging, transportation

Suggested citation: Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mikhailenko E.V., Pilnik Yu.N., Kozlov D.G., Sapelkin R.S. *Matematicheskoe obosnovanie vliyaniya vida rubki glavnogo pol'zovaniya na udel'nye zatraty* [Influence of final felling on costs per unit and it's mathematical justification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-110-119

References

- [1] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [2] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [3] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056

- [4] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [5] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovani avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [6] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [7] Chernyshova E.V. *Algoritim resheniya zadachi optimal'nogo trassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [8] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri trassirovani lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [9] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [10] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [11] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines — One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.
- [12] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.
- [13] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article_5b240611858af4.37544962
- [14] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchedom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. *Diss. ... Dr. Sci. (Tech.)*. Arkhangelsk: NArFU, 2017, 406 p.
- [15] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [16] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovanie modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya — transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions — traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoe delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article_5ab0dfbe6ece23.91630316

Authors' information

Nikitin Vladimir Valentinovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch)

Skrypnikov Aleksey Vasil'evich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the faculty of Management and computer science in technological systems, of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Kozlov Vyacheslav Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

Mikhaylenko Ekaterina Viktorovna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Technology and Transport and Technological Machines, of the Ukhta State Technical University

Pil'nik Yuliya Nikolaevna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Ecology, Land Management and Environmental Management, UKHTA State Technical University

Kozlov Dmitry Gennadievich — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Dean for Employment of the Faculty of Agricultural Engineering, Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, dimvsau@mail.ru

Sapelkin Roman Sergeevich — Candidate of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies

Received 13.10.2021.

Approved after review 25.11.2021.

Accepted for publication 10.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest