

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 145–153.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 145–153.

Научная статья

УДК 630\*377.4

DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.015

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАБОТЫ ФОРВАРДЕРА

**Владимир Викторович Побединский<sup>1</sup>, Эдуард Федорович Герц<sup>2</sup>,  
Андрей Вениаминович Мехренцев<sup>3</sup>, Максим Викторович Полукаров<sup>4</sup>**

<sup>1-4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> pobedinskyvv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

<sup>2</sup> gertsef@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

<sup>3</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6058-2661>

<sup>4</sup> polukarovmv@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Работа посвящена совершенствованию лесосечных работ, в частности технологическим схемам работы форвардера. На основании подробного анализа технологий выявлена проблема низкой эффективности работы форвардера во всем многообразии условий и различных требований к технологиям лесозаготовок. Также анализ и научных публикаций показывает, что эта проблема осталась без должного внимания ученых, а в имеющихся исследованиях осталась недостаточно решенной. В работе показана основная тому причина – несистемный подход к ее изучению, а в большей степени фрагментарный. На основании вышеизложенного была определена цель исследований, которая заключалась в разработке технологических схем работы форвардера с учетом всех основных влияющих факторов, условий и требований. При этом решались следующие задачи: 1) на основании анализа технологий и исследований определить все основные влияющие факторы, условия, различные требования, которые необходимо учитывать при создании технологических схем работы форвардера; 2) разработать теоретический подход комплексного решения проблемы; 3) разработать технологические схемы работы форвардера с учетом всего многообразия факторов. Практическим результатом явились предложенные схемы, которые могут быть рекомендованы для использования в практике лесосечных работ.

**Ключевые слова:** форвардер, технологическая схема работы форвардера, лесосечные работы

**Для цитирования:** Разработка технологических схем работы форвардера / В. В. Побединский, Э. Ф. Герц, А. В. Мехренцев, М. В. Полукаров // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 145–153.

Original article

## DEVELOPMENT OF FORWARDER OPERATION TECHNOLOGICAL SCHEMES

Vladimir V. Pobedinsky<sup>1</sup>, Eduard F. Hertz<sup>2</sup>, Andrey V. Mekhrentsev<sup>3</sup>, Maxim V. Polukarov<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> pobedinskyvv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

<sup>2</sup> gertsef@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

<sup>3</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6058-2661>

<sup>4</sup> polukarovmv@m.usfeu.ru

**Abstract.** The research is devoted to the improvement of logging operations, in particular, to the technological schemes of the forwarder operation. Based on a detailed analysis of the technologies, the problem of significantly low efficiency of the forwarder's operation in all the variety of conditions and different requirements for wood harvesting technologies has been identified. An analysis of scientific publications also shows that this problem has not received the necessary attention from scientists, and the existing research has not been sufficiently resolved. The main reason for this is the lack of a systematic approach to studying the problem, which has resulted in a fragmented approach. Based on this, the goal of the research was to develop technological schemes of the forwarder operation, taking into account all the main influencing factors, conditions, and requirements. At the same time, the following tasks were solved: 1) based on the analysis of technologies and research, to determine all the main influencing factors, conditions, various requirements that must be taken into account when creating technological schemes of the forwarder operation; 2) to develop a theoretical approach to a comprehensive solution of the problem; 3) to develop technological schemes of the forwarder operation, taking into account the diversity of factors. The practical result was the proposed schemes, which can be recommended for use in the practice of logging operations.

**Keywords:** forwarder, technological scheme of the forwarder's operation, logging operations

**For citation:** Development of forwarder operation technological schemes / V. V. Pobedinsky, E. F. Hertz, A. V. Mekhrentsev, M. V. Polukarov // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 145–153.

### Введение

В настоящее время практически во всех лесопромышленных странах и в Российской Федерации лесозаготовки сортиментов идут с использованием системы машин харвестер – форвардер (Заготовка сортиментов... 1993; Современные лесозаготовки..., 2004). Эта технология вытесняет ранее принятые технологии заготовок в хлыстах или основанные на валочных или валочно-пакетирующих машинах на гусеничном ходу (Григорьев, Валяженков, 2009). Сортиментная почти полностью применялась в зарубежных странах, имеющих существенно отличающиеся от российских природно-климатические, технологические, грун-

товые, технические, таксационные, нормативные требования, условия и параметры лесозаготовок (Ууситало, 2004). Все это потребовало проведения комплекса научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование лесосечных работ применительно к новой системе машин. Такими исследованиями занимались наши ученые (Азаренок и др., 2001).

Как показал наш предварительный анализ, подавляющее большинство исследований было посвящено работе харвестера как головной машины, определяющей основные процессы лесосечных работ. Исследования, посвященные работе форвардера, оставались вне поля зрения ученых.

Кроме того, те единичные публикации по форвардеру отличались значительной ограниченностью, фрагментарностью рассмотрения и недостаточно отражали специфику его работы (Матвейко, Федоренчик, 2002; Котиков и др., 2004, Рекомендации..., 2010). Особенно это заметно на примерах разработки рекомендаций по выбору технологических схем работы форвардера (Петелина, Маслов, 2008). А между тем наши исследования после определенной детализации рассмотрения показали, что в структуре технологического процесса лесосечных работ различные переместительные операции лесоматериалов, выполняемые преимущественно форвардером, занимают наибольшую часть затрат. Следовательно, разработка технологических схем работы форвардера играет решающую роль и при этом в схемах должны учитываться все основные влияющие факторы и параметры процесса.

#### **Цель, методика и объекты исследований**

Работы, учитывающие одновременно все основные влияющие факторы, с позиций системного анализа отсутствуют, что и определило цель настоящих исследований, которая заключалась в разработке технологических схем работы форвардера с учетом всех специфических особенностей лесосечных работ.

В работе решались следующие задачи.

1. Выработать теоретический подход к решению проблемы технологии лесосечных работ с учетом системного анализа.
2. Разработать алгоритм решения задачи разработки технологических схем.
3. Разработать технологические схемы работы форвардера для заданных условий лесосечных работ.

В работе использованы методы научного и технологического анализа, теории системного анализа, технологий лесосечных работ, нормативно-технических данных по рекомендациям выполнения лесосечных работ, определения параметров лесосек, таксационных данных, экологических требований, технических параметров лесосек и машин, природно-климатических и грунтовых условий на лесозаготовках, теории алгоритмов и программ.

#### **Результаты и их обсуждение**

Учитывая результаты ранее проведенных работ, недостаточность оценки многих факторов, использовали подход системного анализа, предложенный академиком М. Н. Моисеевым, к исследованию больших и слабо формализуемых систем. С этой целью разработана схема большой системы «Технологии лесосечных работ» с позиции системного анализа, которая выглядит следующим образом.

Начало

Задание параметров древостоя и лесосеки

Задание вида технологических операций

Задание вариантов и параметров схемы

Цикл 1

Проверка на нормативные требования, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 2

Проверка на технологические требования

Цикл 3

Проверка на таксационные требования, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 4

Проверка на природно-климатические требования, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 5

Проверка на экологические требования, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 6

Проверка на грунтовые условия, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 7

Проверка на параметры заготовки и трелевки, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 8

Проверка на технические требования, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 9

Проверка на экономические параметры, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Цикл 10

Проверка на параметры вывозки, если не соответствует, то изменить параметры схемы работы форвардера и повторить с цикла 1

Конец

Из этого следует потребность в разработке методики моделирования технологических схем в виде итерационного процесса. Псевдокод процесса моделирования приведен на рис. 1.

Разработанные в результате моделирования технологические схемы работы форвардера и лесовозного транспорта приведены на рис. 2, а–г.

Знаком **Х** на схеме обозначен харвестер (размещение индекса «Х» обозначает полураму харвестера, на которой установлен двигатель). Знак **Ф** обозначает форвардер (размещение индекса «Ф» обозначает полураму форвардера, на которой установлен двигатель). Пакет сортиментов указывается как **≡**, растущее дерево – **☼**, пень – **└** и **▣** – штабель сортиментов. Буквами ЛУ обозначен лесовозный ус и его границы, МТВ – магистральный трелевочный волок и его границы, ПТВ – пасечный трелевочный волок

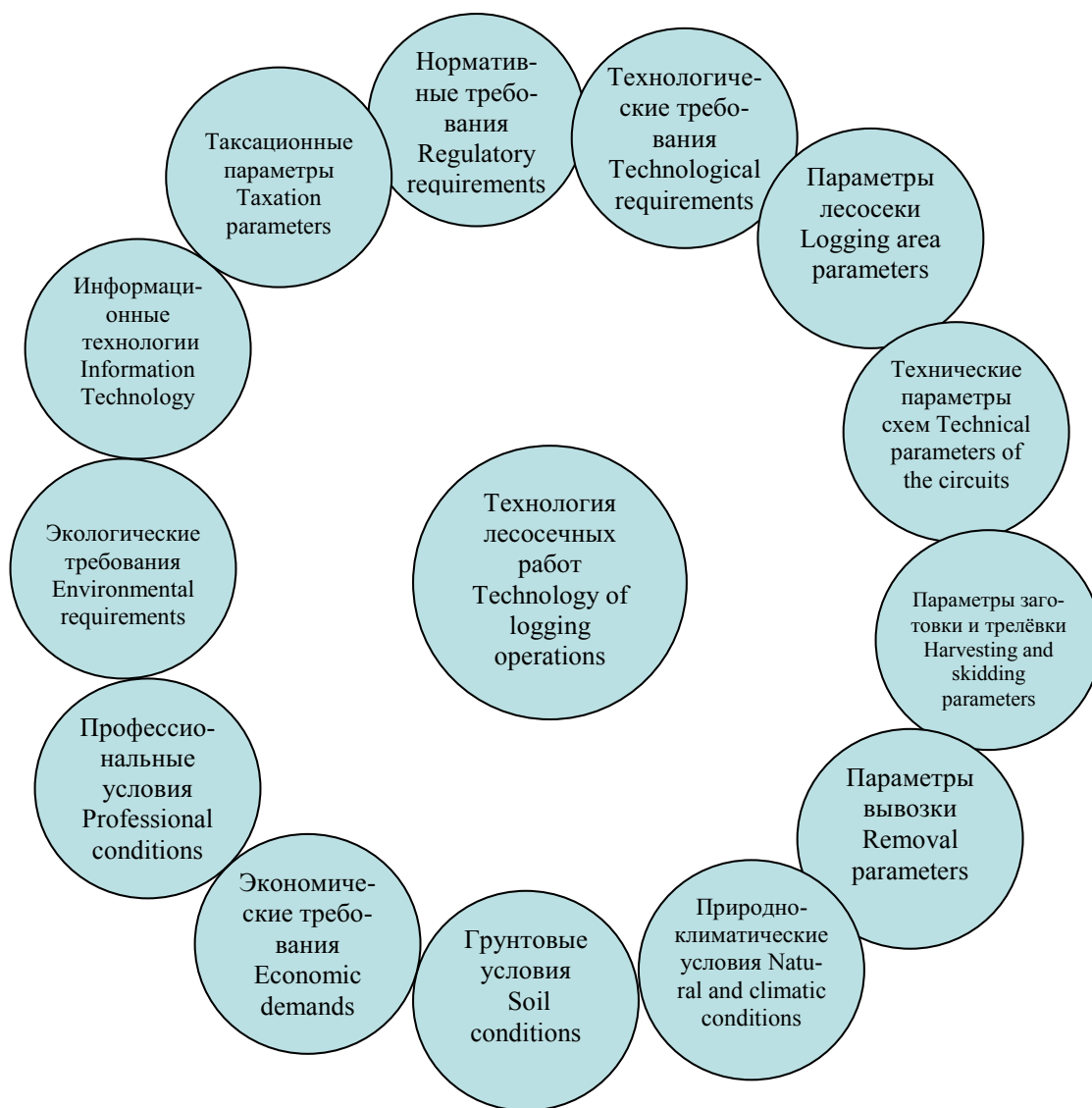


Рис. 1. Представление темы исследований лесосечных работ с позиций системного анализа  
 Fig. 1. Presentation of the topic of logging research from the perspective of system analysis

и его границы, ВЛС – верхний лесопромышленный склад и его границы, МР – место разворота лесовозного транспорта и его границы. Сплошной линией — показана граница разработанной пасаеки, пунктиром - - - - - – граница планируемой пасаеки, пунктиром-тире - · - · - · – граница делянки. Стрелка на штриховой линии - ➤ · обозначает направление холостого хода, на пунктирной линии —▶· – направление пути набора пачки, на сплошной —▶ – направление грузового хода, на переходе штриха и пунктира - ▶· – направление хода при разгрузке пачки. Цифрами 1–6 обозначены основные точки, определяющие смену характера работы форвардера.

В предлагаемых схемах харвестер осуществляет 1-й этап сортировки, форвардер – 2-й этап. Форвардер начинает с вывозки деловых сортиментов, и схемы имеют следующие характеристики.

Схема на рис. 2а.

Форвардер работает на полностью разработанной харвестером пасаеке. Благодаря этому машинист форвардера заезжает на волок задней полурамой вперед и двигается до дальнего края делянки, визуально оценивая расположение и количество того или иного сортимента. Это необходимо для максимально возможного заполнения погрузочной площадки при наборе пачки.

Харвестер разрабатывает следующую пасаеку. Благодаря этому форвардер и харвестер не мешают работать друг другу.

Машинисту форвардера с меньшей квалификацией бывает сложно оценить визуально объем того или иного сортимента. Поэтому малоопытный машинист форвардера может узнать объем всех сортиментов на пасаеке благодаря распечатке с компьютера харвестера.

Машинист форвардера вначале осуществляет вывозку сортимента, составляющего максимально возможный объем трелюемой пачки, при этом учитывая два фактора: вместимость погрузочной площадки и грузоподъемность машины.

Схема на рис. 2б.

Форвардер работает на полностью разработанной харвестером пасаеке. Благодаря этому маши-

нист форвардера заезжает на волок задней полурамой вперед и двигается до дальнего края делянки, визуально оценивая расположение и количество того или иного сортимента. Это необходимо для максимально возможного заполнения погрузочной площадки при наборе пачки.

Харвестер разрабатывает следующую пасаеку. Благодаря этому форвардер и харвестер не мешают работать друг другу.

Малоопытному машинисту форвардера бывает сложно оценить визуально объем того или иного сортимента. Поэтому он может узнать объем всех сортиментов на пасаеке на экране компьютера харвестера.

Машинист форвардера осуществляет вывозку нескольких (двух и более) видов сортиментов для набора максимально возможного объема трелюемой пачки, при этом учитывая два фактора: вместимость погрузочной площадки и грузоподъемность машины.

Схема на рис. 2в.

Форвардер работает на той же пасаеке, что и харвестер. При этом машинист форвардера следует двум требованиям: находится на безопасном расстоянии от харвестера и не создает помехи последнему.

Машинист форвардера вначале осуществляет вывозку сортимента, составляющего максимально возможный объем трелюемой пачки, при этом учитывая три фактора: вместимость погрузочной площадки, грузоподъемность машины и несущую способность грунта.

Схема на рис. 2г.

Форвардер работает на той же пасаеке, что и харвестер. При этом машинист форвардера следует двум требованиям: находится на безопасном расстоянии от харвестера и не создает помехи последнему.

Форвардер осуществляет вывозку нескольких (двух и более) видов сортиментов для набора максимально возможного объема трелюемой пачки, при этом учитывая три фактора: вместимость погрузочной площадки, грузоподъемность машины и несущую способность грунта.

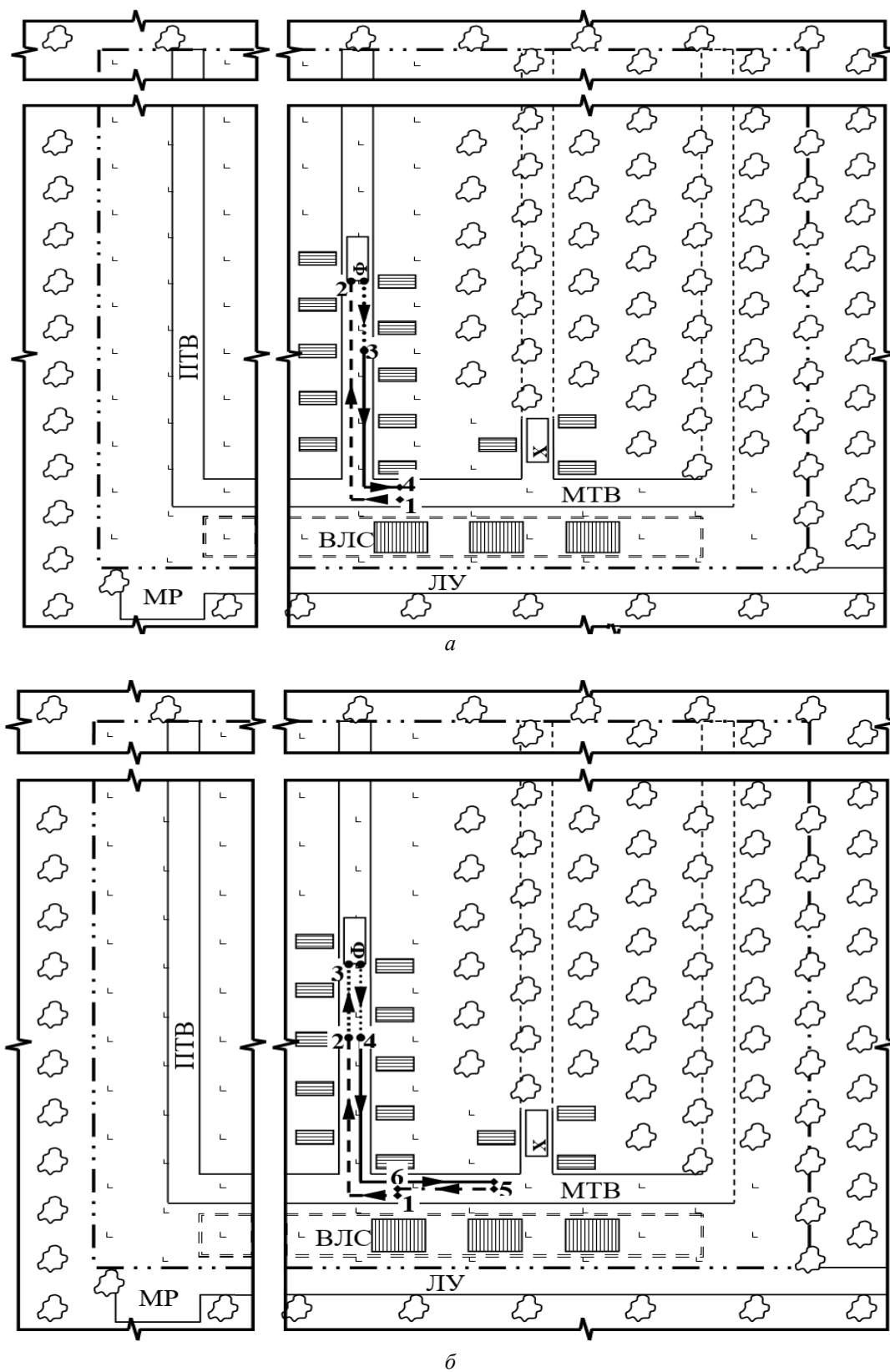
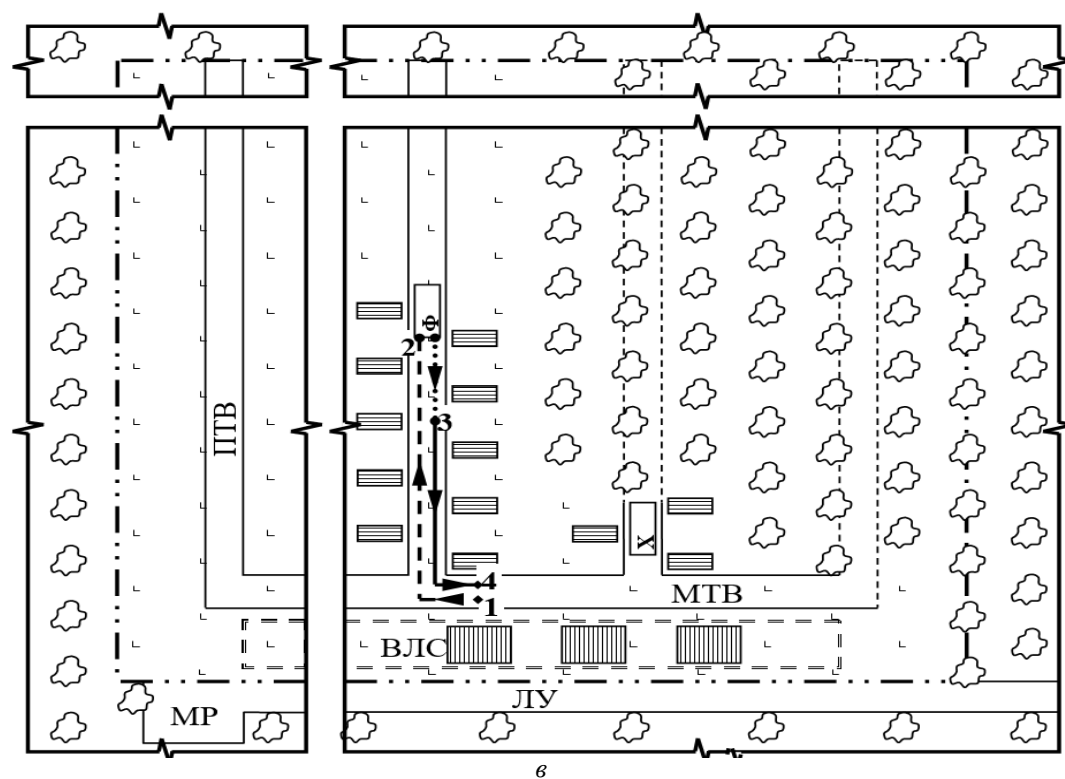
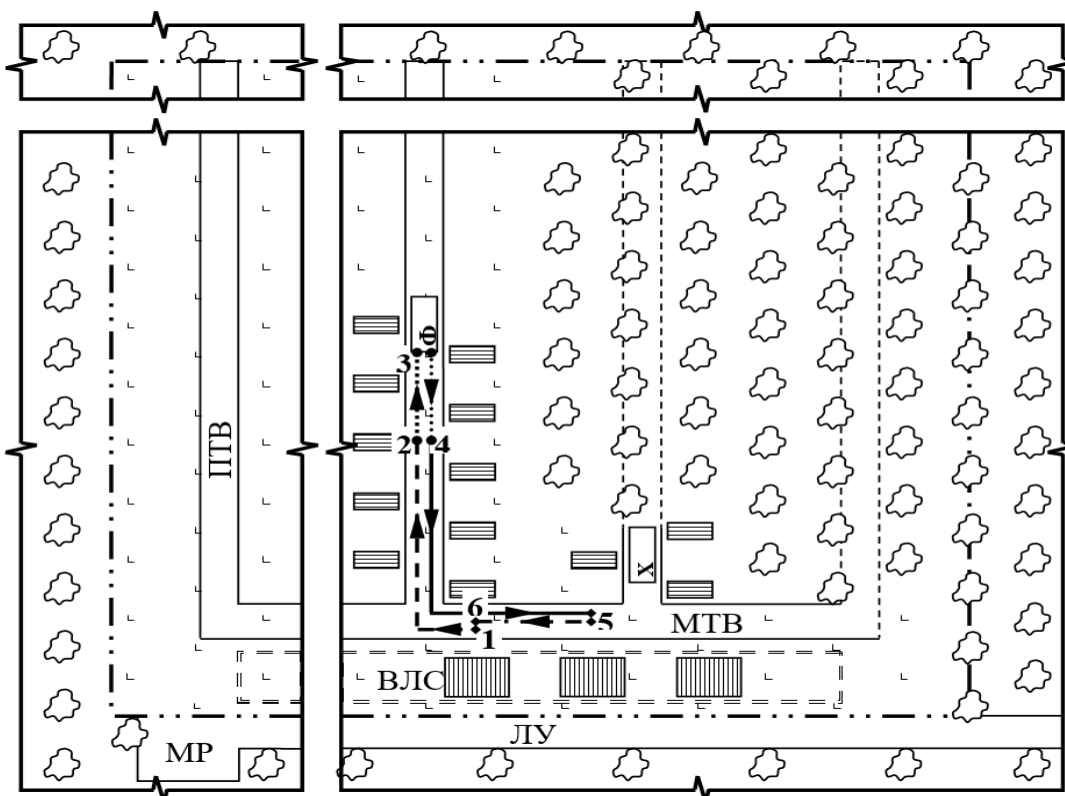


Рис. 2. Варианты технологических схем работы форвардера:  
 а – трелевка одного вида сортимента; б – трелевка двух и более видов сортиментов  
 Fig. 2. Options for technological schemes of the forwarder operation:  
 а – skidding of one type of assortment; б – skidding of two or more types of assortments



6



2

Рис. 2. Варианты технологических схем работы форвардера:  
 6 – трелевка одного вида сортимента в сильный снегопад;  
 2 – трелевка двух и более видов сортиментов в сильный снегопад  
 Fig. 2. Options for technological schemes of the forwarder operation:  
 6 – skidding of one type of assortment in heavy snowfall;  
 2 – skidding of two or more types of assortments in heavy snowfall

### Выводы

1. Поскольку технологии лесосечных работ охватывают широкий круг различных дисциплин, то для выработки технологических схем работы лесосечных машин необходимо использовать системный подход, применимый для больших и слабо формализуемых систем.

2. Наиболее корректным методом для разработки технологических схем работы форвардера будет метод модельно-ориентированного проектирования, поэтому был предложен метод поэтапного итерационного моделирования для проекти-

рования параметров схем, представленный в виде псевдокода алгоритма программы.

3. В любой сезон лесозаготовок при хорошей несущей способности грунта применимы схемы, изображенные на рис. 2а, б. При этом по схеме на рис. 2б форвардер предусматривает вывозку нескольких (двух и более) видов сортиментов.

4. Схемы, изображенные на рис. 2в, г, применимы в следующих случаях: в зимнее время при сильном снегопаде; при окончании сезона лесозаготовительных работ; в летнее, осеннее время при слабой несущей способности грунта.

### Список источников

- Азаренок В. А., Герц Э. Ф., Мехренцев А. В.* Сортиментная заготовка леса. Екатеринбург : УГЛТА, 2001. 134 с.
- Григорьев И. В., Валяженков В. Д.* Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб. : СПбГЛТА, 2009. 287 с.
- Заготовка сортиментов на лесосеке. Технология и машины / *А. В. Жуков, И. К. Иевинь, А. С. Федоренчик* [и др.]. М. : Экология, 1993. 312 с.
- Котиков В. М., Еремеев Н. С., Верхов А. В.* Лесозаготовительные и трелевочные машины / под ред. В. М. Котикова. М. : Академия, 2004. 336 с.
- Матвейко А. П., Федоренчик А. С.* Технология и машины лесосечных работ. Минск : Технопринт, 2002. 480 с.
- Петелина О. А., Маслов О. Г.* Технологические схемы разработки пасек системой машин харвестер – форвардер // Лесной вестник. 2008. № 3. С. 128–132.
- Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области / *В. А. Азаренок, С. В. Залесов, Э. Ф. Герц* [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. 67 с.
- Современные лесозаготовки. Техника и технологии / *А. В. Жуков, А. С. Федоренчик, В. А. Азаренок* [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. 111 с.
- Ууситало Й.* Основы лесной технологии. Йоэнсуу : Оу FEG, 2004. 228 с.

### References

- Azarenok V. A., Hertz E. F., Mekhrentsev A. V.* Sortiment harvesting of forest. Yekaterinburg : USFEA, 2001. 134 p.
- Grigoriev I. V., Valyazhenkov V. D.* Modern Machines and Technological Processes of Logging Operations. St. Petersburg : SPbSFTA, 2009. 287 p.
- Harvesting of Sortments in the Wood Cutting Area. Technology and Machines / *A. V. Zhukov, I. K. Ievin, A. S. Fedorenchik* [et al.]. Moscow : Ecology, 1993. 312 p.
- Kotikov V. M., Eremeev N. S., Verkhov A. V.* Logging and skidding machines. Education / Edited by V. M. Kotikov. Moscow : Publishing Center “Academy”, 2004. 336 p.
- Matveyko A. P., Fedorenchik A. S.* Technology and Machines for Logging Operations. Minsk : Tekhnoprint, 2002. 480 p.

- Modern logging. Technique and technology / *A. V. Zhukov, A. S. Fedorenchik, V. A. Azarenok* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2004. 111 p.
- Petelina O. A., Maslov O. G.* Technological schemes for developing apiaries using the Harvester – Forwarder system // *Forest bulletin*. 2008. № 3. P. 128–132. (In Russ.)
- Recommendations for timber harvesting by multi-operation machines in the Sverdlovsk Region / *V. A. Azarenok, S. V. Zalesov, E. F. Hertz* [et al.]. Yekaterinburg : USFEU, 2010. 67 p.
- Uusitalo J.* Fundamentals of Forest Technology. Joensuu : Oy FEG Publishing House, 2004. 228 p.

#### ***Информация об авторах***

- В. В. Побединский* – доктор технических наук, профессор;  
*Э. Ф. Герц* – доктор технических наук, профессор;  
*А. В. Мехренцев* – кандидат технических наук, доцент;  
*М. В. Полукаров* – заведующий комплексом лабораторий.

#### ***Information about the authors***

- V. V. Pobedinsky* – Doctor of Technical Sciences, Professor;  
*E. F. Hertz* – Doctor of Technical Sciences, Professor;  
*A. V. Mekhrentsev* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;  
*M. V. Polukarov* – Head of the Laboratory Complex.

*Статья поступила в редакцию 14.11.2025; принята к публикации 12.12.2025.*

*The article was submitted 14.11.2025; accepted for publication 12.12.2025.*

---

---