

Научная статья  
УДК 630.31

## ЛИНЕЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА С ЗАЕЗДАМИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Анастасия Николаевна Кузнецова<sup>1</sup>, Дмитрий Владимирович Лутков<sup>2</sup>,  
Сергей Борисович Якимович<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> anastasiyasholohova@gmail.com

<sup>2</sup> dlutkov03@mail.ru

<sup>3</sup> yakimovichsb@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Представлена новая схема разработки лесосек с заездами на основе линейных траекторий движения машин и рабочих органов. Разработана методика аналитического расчета влияния вылета манипулятора и ширины технологических коридоров на степень повреждения почвенно-грунтового слоя по доле площади технологических коридоров. Даны практические рекомендации по вылету манипулятора в соответствии с требованиями правил заготовки древесины.

**Ключевые слова:** схема, линейные траектории, почвогрунт, повреждение, вылет манипулятора

Original article

## A LINEAR TECHNOLOGICAL SCHEME WITH ARRIVALS AND A METHODOLOGY FOR EVALUATING ITS EFFECTIVENESS

**Anastasia N. Kuznetsova<sup>1</sup>, Dmitry V. Lutkov<sup>2</sup>, Sergey B. Yakimovich<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> anastasiyasholohova@gmail.com

<sup>2</sup> dlutkov03@mail.ru

<sup>3</sup> yakimovichsb@m.usfeu.ru

**Abstract.** A new scheme for the development of cutting areas with arrivals based on linear trajectories of movement of machines and working bodies is presented. The method of analytical calculation of the influence of the departure of the manipulator and the width of technological corridors on the degree of damage to the soil-soil layer by the proportion of the area of technological corridors has

been developed. Practical recommendations on the departure of the manipulator in accordance with the requirements of the rules of wood harvesting are given.

**Keywords:** scheme, linear trajectories, soil, damage, departure of the manipulator

Известные решения по технологическим схемам с заездами для проведения выборочных рубок [1–3] являются практически нереализуемыми. Связано это с тем, что оператор харвестера не способен определить траекторию заезда в виде части окружности. И более того, весьма сложно рассчитать долю площади технологических коридоров при наличии в расчетной зависимости элементов площади в виде сегментов, секторов сегментов, сектора, сектора кольца и ряда других сложных криволинейных фигур (рис. 1).

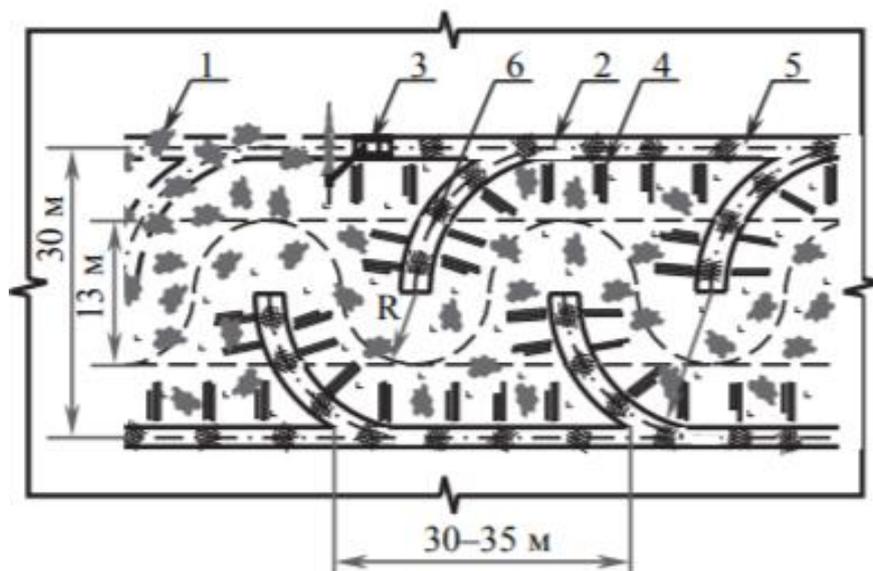


Рис. 1. Схема разработки лесосеки с заездами харвестера на полупасеки:  
 1 – растущий лес; 2 – волок; 3 – харвестер; 4 – пакеты сортиментов;  
 5 – порубочные остатки; 6 – заезд на полупасеку

Из изложенного следует актуальность и практическая значимость более простых технологически реализуемых схем разработки лесосек и, соответственно, более простых методик расчета степени повреждения почвенно-грунтового слоя по доле площади технологических коридоров (волоков). Цель работы – разработка и обоснование технологических схем, исключая нелинейные элементы, и методики их оценки по критерию площади технологических коридоров.

На основе выполненного анализа возможных технологических схем предлагается более простая схема заездов, при которой все нелинейные траектории движения машин и зоны рабочих органов заменяются линейными, прямыми, что позволяет исключить сложно вычисляемые элементы нелинейных форм (рис. 2). Тогда новая схема будет выглядеть следующим образом (повторяющийся фрагмент схемы на рис. 3).

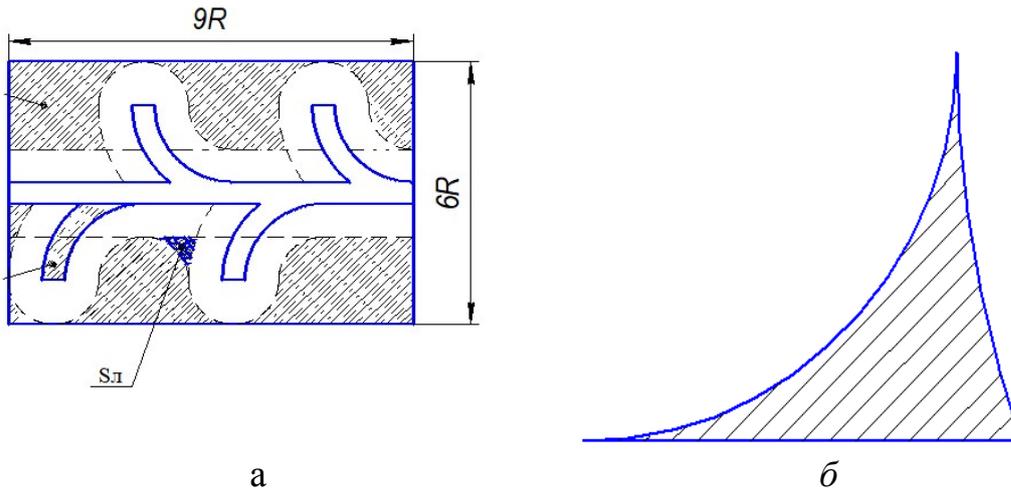


Рис. 2. Фрагменты схем: *а* – схема работы харвестера по технологии с нелинейными заездами на полупасеки; *б* – заштрихованный на рис. 2, *а* сложно вычисляемый и необработываемый элемент площади

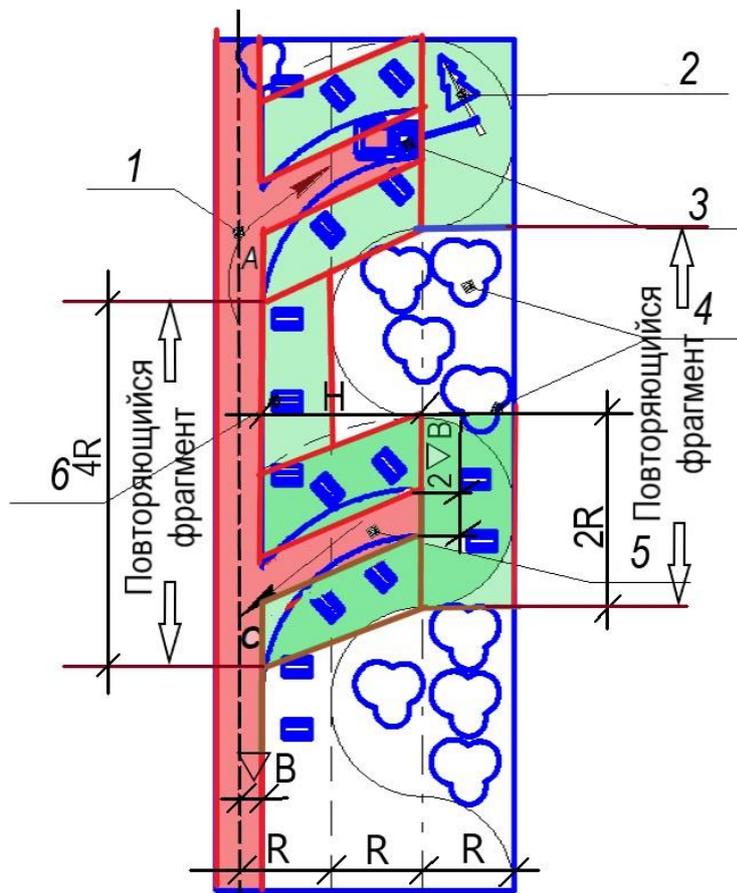


Рис. 3. Повторяющийся фрагмент схемы работы харвестера линейными заездами на полупасеки:

- 1* – ось волока (технологического коридора); *2* – поваленное дерево;
- 3* – харвестер на заезде; *4* – деревья, обрабатываемые с параллельного волока;
- 5* – заезд на полупасеку; *б* – пачки сортиментов

Методика расчета основана на материалах исследований [2–5] и включает в себя следующее.

1. Описание технологической схемы и работы машин.
2. Выделение минимального по площади, повторяющегося фрагмента пасеки (см. рис. 3).
3. Определение общей площади и площади технологического коридора (волока, заездов), подверженной разрушению почвогрунтов по причине многократного прохода форвардера при сборе сортиментов, расчет доли или процента повреждения. Выполняется на основе рис. 3 и выделенных площадей.

Площадь технологического коридора  $S_{tk}$  для повторяющегося фрагмента представлена площадью правой части волока от оси 1 и площадью заезда 5 и определяется по выражению

$$S_{tk} = (4R \nabla B) + (H \nabla B),$$

где  $H$  – высота заезда (параллелограмма);

$\nabla B$  – половина ширины волока (заезда);

$R$  – вылет манипулятора (ширина полупасеки).

Развернув  $H$  в представленном выражении и преобразовав, имеем

$$\begin{aligned} S_{tk} &= (4R \nabla B) + (2R - \nabla B) 2\nabla B = 4R \nabla B + 4R \nabla B - 2\nabla B^2 = \\ &= 8R \nabla B - 2\nabla B^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Площадь  $S_{ptk}$ , примыкающая к площади технологического коридора в рамках минимального фрагмента представлена площадью параллелограмма, примыкающего к волоку, площадью двух параллелограммов и площадью прямоугольника, примыкающих к заезду. Определяется на основе следующего вывода

$$\begin{aligned} S_{ptk} &= 2R (R - \nabla B) + 2R (2R - \nabla B) - (2R - \nabla B) \nabla B + 2R^2 = \\ &= 8R^2 - 8R \nabla B + 2\nabla B^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Общая площадь фрагмента на основе выражений (1), (2)

$$S_{общ} = S_{tk} + S_{ptk} = 8R \nabla B - 2\nabla B^2 + 8R^2 - 8R \nabla B + 2\nabla B^2 = 8R^2. \quad (3)$$

Доля площади  $D$  технологического коридора  $S_{tk}$ , % определяется на основе уравнений (1), (3) по следующему выражению

$$D = S_{ptk} / S_{общ} = (8R \nabla B - 2 \nabla B^2) / 8R^2. \quad (4)$$

На основе (4), приняв  $\nabla B = 2,5$  м – стандартное значение половины ширины волока, имеем следующий график (рис. 4) зависимости доли площади технологических коридоров в функции от вылета манипулятора  $R = 6...19$  м.

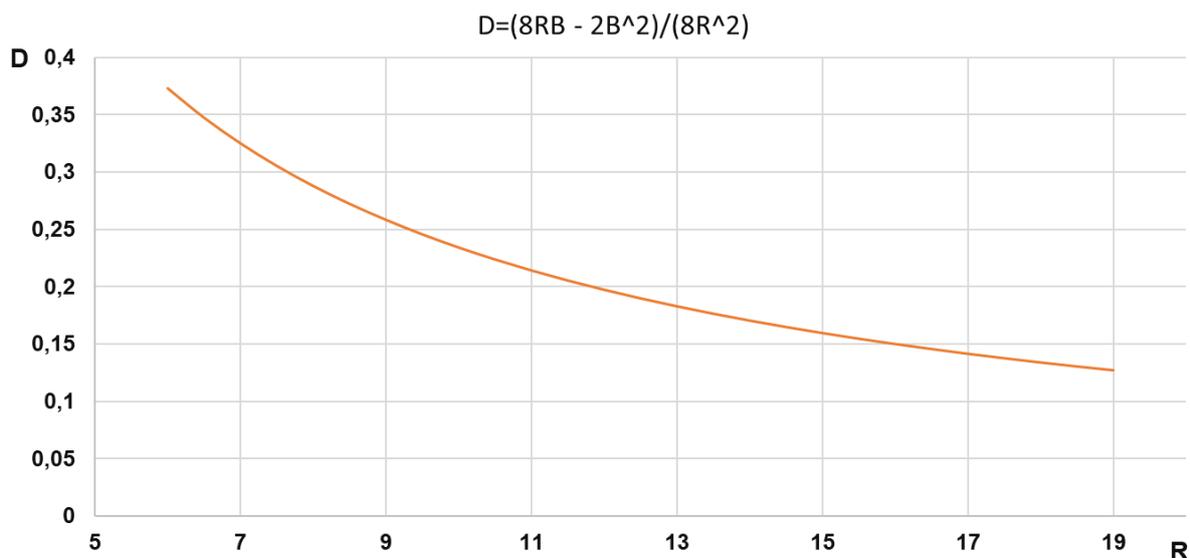


Рис. 4. График зависимости доли технологических коридоров D от вылета манипулятора R

Анализ результатов и выводы:

1. Замена нелинейных траекторий движения машин и зон рабочих органов на линейные определяет более простые технологические схемы разработки лесосек и простые методики расчета степени повреждения почвенно-грунтового слоя по доле площади технологических коридоров (волоков).

2. Методика расчета в виде аналитических зависимостей позволяет выполнить анализ влияния вылета манипулятора и ширины технологических коридоров на степень повреждения почвенно-грунтового слоя по доле площади технологических коридоров (волоков).

3. В соответствии с анализом зависимости доли технологических коридоров от вылета манипулятора и требованиями правила заготовки древесины, допустимый вылет составляет не менее 9 м.

### Список источников

1. Патент № 2504146 Российская Федерация. МПК А01G23/02. Способ разработки лесосек машинами манипуляторного типа : № 2012133115/13 ; заявл. 01.08.2012; опубл. 20.01.2014 / С. Б. Якимович, М. А. Тетерина, А. И. Белов и др. 8 с.

2. Герц Э. Ф., Мехренцев А. В., Якимович С. Б. Сравнительная оценка эффективности технологических схем работы систем машин харвестер – форвадер по критериям площади технологических коридоров и производительности // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2012. № 4. С. 63–67.

3. Якимович С. Б., Тетерина М. А. Управление схемами работы машин в обрабатывающе-транспортных лесозаготовительных системах // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2010. № 5. С. 78–826

4. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовки: уравнения состояний // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2003. № 3. С. 149–160. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9320028> (дата обращения: 31.05.2023).

5. Сравнительный анализ способов заготовки древесины харвестером по критерию производительности и удельной энергоемкости / С. Б. Якимович [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4 (79). С. 69–74.