

УДК 519.86

DOI: 10.34220/2311-8873-2021-4-4-23-29

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СРАВНИТЕЛЬНОМУ АНАЛИЗУ  
ПЛУГОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВ ПРИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ

Князев А.Г., Камалова Н.С., Юдин Р.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»

E-mail: [rc@icmail.ru](mailto:rc@icmail.ru)

**Аннотация:** В работе с помощью методов системного анализа проводится сравнение нескольких альтернатив существующих плугов для обоснования оптимального выбора способа их модификации. Анализ учитывает обнаруженный при обработке почв на вырубках факт, что лемешные плуги хорошо обрабатывают почву, но не способны работать в насыщенных корнями лесных почвах, или для них требуются значительные тяговые мощности, что не всегда целесообразно. Поэтому чаще на вырубках используют дисковые плуги, имеющие хорошую проходимость и маневренность, однако, качество обработки поверхности при этом не идеальное. В конструкции существующих орудий необходимо внесение изменений. Системный подход позволяет для обоснования целесообразности реализации нового конструкторского решения учитывать несколько факторов: расширение конструктивных решений, сокращение времени на рабочую операцию и особенности использования в условиях Российской Федерации. Исследования показали, что оптимальными характеристиками обладает плуг с принудительными рабочими органами, который при обработке почв на вырубках дополнительно производит рыхление.

**Ключевые слова:** системный подход, метод сравнения альтернатив, критерии сравнения, многокритериальный подход, конструкции плуга, подготовка почв на вырубках.

SYSTEM APPROACH TO COMPARATIVE ANALYSIS OF  
PLOWS FOR SOIL TREATMENT IN FOREST RESTORATION

Knyazev A.G., Kamalova N.S., Yudin R.V.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State  
University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov»

E-mail: [rc@icmail.ru](mailto:rc@icmail.ru)

**Summary:** In the work, the methods of system analysis have used for comparing several alternatives of existing plows in order to substantiate the optimal choice of a method for their modification. The analysis takes into account the discovered during soil cultivation in clear-cut areas fact, that share plows cultivate the soil well, but are not able to work in forest soils saturated with roots, or they require significant tractive power, which is not always advisable. Therefore, disc plows with good maneuverability and mobility are often used in clearings, however, the quality of surface processing is not ideal. Changes of existing implements design are required. The systematic approach allows us to justify the feasibility of implementation a new design solution taking into account several factors: expansion of design solutions, reduction of time for a working operation and features of using in the conditions of the Russian Federation. Studies have shown that a plow with forced working bodies possesses optimal characteristics, which, when processing soils in clearings, additionally loosens.

**Keywords:** systematic approach, method of comparison of alternatives, comparison criteria, multi-criteria approach, plow designs, soil preparation in clearings.

### Введение

Для принятия оптимальных решений при наличии нескольких критериев часто используют метод сравнения альтернатив Т. Саати [1-3]. Пример использования этого метода в области решения технических задач приведен в работе [4] для обоснования выбора эффективного корчевателя. Покажем пример применения методов системного анализа для решения технической задачи, связанной с лесовосстановлением.

Основой увеличения производительности труда в лесоразведении является комплексная механизация, использование автоматизации, внедрение систем машин с высокими технико-экономическими показателями. Для повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов требуется дальнейший рост их производительности, снижение тягового сопротивления и улучшение качества подготовки почвы [5, 6]. Таким образом, разработка технологических основ, создание и внедрение нового поколения машин и рабочих органов для обработки почвы – важная проблема в технологиях лесопромышленного комплекса.

В настоящее время на территории Российской Федерации для предварительной обработки почвы применяются плуг дисковый ПДВ-1,5, плуг лесной дисковый ПЛД-1,2 и различные лемешные плуги. При работе на вырубках обнаружено, что лемешные плуги, которые качественно обрабатывают почву, не могут ра-

ботать в лесных почвах, насыщенных корнями, или для их работы требуются значительные тяговые мощности, что не соответствует задаче снижения энергозатрат. Известно, что дисковые плуги меньше подвержены забиванию сорняками, древесными остатками и другими волокнистыми материалами [7, 8]. Однако, они хуже, чем лемешные, выполняют оборот пласта. Так, если качество работы дискового плуга на песчаных почвах бывает достаточно хорошим, то при вспашке влажной, сильно задернелой почвы часть пластов оказывается заброшенной на отваленные при предыдущем проходе плуга пласты, а часть сваливается обратно в борозду. Кроме того, при взаимодействии рабочего органа с почвенным пластом возникают боковые усилия, которые отрицательно влияют на устойчивую работу плуга. Таким образом, применение дисковых плугов на лесных почвах с большим количеством растительных и древесных остатков сдерживается из-за отсутствия разработок конструкций дискового плуга с учетом взаимодействия рабочего органа с почвенным покровом. В частности, моделированию существенно мешает недостаток исследований в области взаимодействия почвенного пласта с дисковым рабочим органом и с плугом в целом.

С другой стороны, поскольку в российских условиях приходится приспосабливаться к различным нештатным ситуациям, таким как лесные пожары, ураганы и иные стихийные бедствия, важную роль играет скорость реагирования и эффективность производимых работ по предупреждению распространения или локализации последствий. Часто возникает требующая высокой мобильности и скорости острая необходимость по восстановлению экологических ресурсов. Поэтому лучше использовать дисковые плуги, которые производят не только первичную подготовку почвы для дальнейшего восстановления, но и способны значительно сократить пагубное влияние на окружающую среду, а, следовательно, значительно уменьшить затраты на ликвидацию последствий.

Цель данной работы – провести сравнение эффективности четырех дисковых лесных плугов (ПДВ-1,5, ПЛД-1,2, модернизированного плуга на базе ПЛД-1,2 и модернизированного плуга на базе предыдущей модели) по таким критериям, как оптимальность конструкторского решения, длительность рабочей операции и приспособленность использования плуга в климатических условиях Российской Федерации.

Для сравнительного анализа будем применять метод многокритериального анализа альтернатив или аналитической иерархии (МАИ) [1]. Данный под-

ход уже использовался при обосновании технических устройств различного назначения [4, 9, 10].

### **Описание альтернатив**

Первой альтернативой является дисковый плуг ПДВ-1,5, отличающейся хорошей подготовкой микроповышений. Однако, образованные гребни неустойчивы и склонны к разрушению и возврату в борозду, часто наблюдаются пустоты между пластами. В плане конструкторского решения необходимо учитывать высокую стоимость изготовления винтового отвала.

К достоинствам плуга лесного дискового ПЛД-1,2 (альтернатива № 2) можно отнести простоту конструкции и возможность использования на вырубках с различным рельефом местности. Однако, на практике наблюдается плохое рыхление почвы, что влияет на процесс образования борозды. К тому же, выявилась большая трудоемкость и низкая производительность при посадке и дальнейшем уходе.

В процессе разработки модернизированного лесного плуга на базе ПЛД-1, 2 (альтернатива № 3 – плуг) удалось добиться улучшений в работе по сравнению с аналогом, однако, проблему с микроповышениями решить не удалось.

Поэтому нами была предложена дальнейшая модернизация предыдущего плуга (альтернатива № 4 – плуг модернизированный), внедрено дополнительное оборудование, способное не только повысить оборачиваемость пласта, но и повысить рыхлительную способность плуга в целом за счет модернизации формы дискового корпуса. Модернизация позволила снизить тяговую нагрузку на трактор, что в итоге привело к снижению высоких требований к трактору.

### **Выбор критериев**

В качестве критериев для сравнения альтернатив выбраны адаптированность к условиям эксплуатации на территории Российской Федерации (целевой критерий), экономия времени на рабочую операцию (краткосрочные перспективы) и критерий оптимальности конструкторского решения рабочего органа дискового плуга (конструкционный критерий).

### **Сравнение альтернатив**

Анализ в выбранном методе проводится по коэффициентам значимости критериев и результатам сравнения альтернатив по каждому критерию (элементам каждого иерархического уровня). В результате вычисляются компоненты собственных векторов матриц попарного сравнения по формулам [1]:

$$\omega_i = \sqrt[k]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot a_{i3}}, \quad (1)$$

где  $k$  – величина, обратная количеству критериев или альтернатив. Для нормировки используется соотношение:

$$\omega_i^{jn} = \frac{\omega_i^j}{\sum_{j=1}^k \omega_i^j}, \quad (2)$$

где  $i$  – номер критерия,  $j$  – номер альтернативы. В результате индикатор сравнения каждого устройства плуга оценивается как:

$$\omega_{js} = \sum_i \omega_i \omega_{ij}. \quad (3)$$

Критерии сравнивались попарно в соответствии со степенью значимости (табл. 1). Самым значимым критерием в соответствии с целью исследования была выбрана адаптированность устройства к сложным условиям эксплуатации на территории Российской Федерации. Вторым по значимости являлся критерий длительности элементарной операции (краткосрочные перспективы), третьим – критерий оптимальности конструкционного решения.

Таблица 1

Критерии	Конструкционный	Краткосрочные перспективы	Целевой
Конструкционный	1,0	3,0	0,2
Краткосрочные перспективы	0,33	1,0	0,14
Целевой	5,0	7,00	1,0

Целевой					
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг	ПЛД-1,2	ПДВ-1,5	
Плуг модерниз.	1,000	5,000	7,000	9,000	
Плуг	0,200	1,000	3,000	5,000	
ПЛД-1,2	0,143	0,333	1,000	3,000	
ПДВ-1,5	0,111	0,200	0,333	1,000	
Конструкционный					
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг	ПЛД-1,2	ПДВ-1,5	
Плуг модерниз.	1,000	5,000	5,000	7,000	
Плуг	0,200	1,000	1,000	3,000	
ПЛД-1,2	0,200	1,000	1,000	3,000	
ПДВ-1,5	0,143	0,333	0,333	1,000	
Потребность	20	12	5		
Краткосрочные перспективы					
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг	ПЛД-1,2	ПДВ-1,5	
Плуг модерниз.	1,000	5,000	7,000	7,000	
Плуг	0,200	1,000	3,000	3,000	
ПЛД-1,2	0,143	0,333	1,000	1,000	
ПДВ-1,5	0,143	0,333	1,000	1,000	

Рисунок 1 – Компоненты собственных векторов матриц попарного сравнения

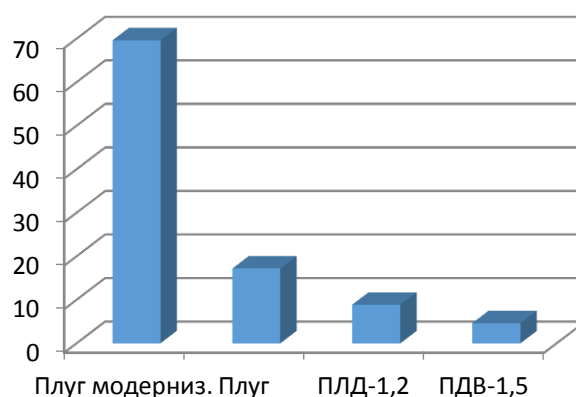


Рисунок 2 – Результаты сравнения плугов

Сравнение проводилось с помощью электронных таблиц Excel (рис. 1). В результате математической обработки было выявлено очевидное преимущество второй модернизации плуга ПЛД-1,2 (рис. 2).

### **Заключение**

Таким образом, в работе было продемонстрировано, что системный подход к сравнительному анализу нескольких альтернатив позволяет для обоснования целесообразности реализации нового конструкторского решения учитывать несколько факторов (критериев): расширение конструкционных решений, сокращение времени на рабочую операцию и особенности использования в условиях Российской Федерации. Исследования показали, что оптимальными характеристиками для обработки почв на вырубках в наших природных условиях обладает вторая модернизация плуга ПЛД-1,2, имеющая принудительные рабочие органы, которые производят дополнительное рыхление.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с.

2 Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района Северо-западный Лаокай, Вьетнам) / Ч. К. Нгуен, И. К. Фоменко, В. В. Пендин, К. Т. Нгуен // Геоинформатика. – 2017. – № 2. – С. 53-66

3 Цибизова, Т. Ю. Применение метода анализа иерархий в оценке качества процессов управления / Т. Ю. Цибизова, А. А. Карпунин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. URL:

<http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20847>.

4 Кузнецов, Д. С. Применение метода анализа иерархий для обоснования выбора наиболее эффективного корчевателя / Д. С. Кузнецов, Е. В. Поздняков, Н. Ю. Евсикова // Воронежский научно-технический вестник. – 2020. – Т. 1. – № 1 (31). – С. 133-139.

5 Бартенев, И. М. Современные экологически сбалансированные, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесовосстановления : [деп. рукопись] / И. М. Бартенев, И. Е. Донцов, М. Н. Лысыч // ГОУ ВПО ВГЛТА. – Воронеж, 2008. – 21 с.

6 Драпалюк, М. В. Математическое моделирование взаимодействия рычажного корчевателя с пнем и почвой / М. В. Драпалюк, Д. Н. Афоничев, Е. В. Раецкая // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 77. – С. 202-213.

7 Бурченко, П. Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения / П. Н. Бурченко. – Москва : ВИМ, 2002. – 212 с.

8 Шабанов, М. Л. Перспективные конструкции лесных дисковых рыхлителей / М. Л. Шабанов, М. Н. Лысыч, Р. В. Иконников // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12-1. – С. 92-97. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36482>.

9 Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П. И. Попиков, Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. С. Полянин // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2015. – № 2, ч. 2 (13-2). – С. 296-300.

10 Оценка эффективности механизмов корчевательных машин методом сравнения альтернатив Саати / И. М. Бартенев, Е. В. Поздняков, А. К. Поздняков, М. В. Шавков // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 1. – № 1 (23). – С. 91-95.