

УДК 519.86

DOI: 10.34220/2311-8873-2021-4-4-30-35

ВЫБОР ПЛУГА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Попов М.А., Бартенев И.М., Евсикова Н.Ю.

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

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

**Аннотация:** В работе проводится сравнительный анализ ряда альтернатив для обоснования решения по совершенствованию конструкции существующих плугов с целью оптимизации механизированной посадки лесных культур. Показано, что системный подход помогает обосновать целесообразность внедрения новой конструкторской разработки с учетом нескольких критериев: расширения функциональных возможностей, сокращения расходов на посадочный материал и использования в определенных природно-географических условиях.

**Ключевые слова:** системный подход, метод сравнения альтернатив, критерии сравнения, многокритериальный подход, конструкции плуга, микроповышения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS PLOWS  
CONSTRUCTIONS BY THE METHOD OF COMPARING ALTERNATIVES

Popov M.A., Bartenev I.M., Evsikova N.Yu.

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

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

**Summary:** In the work, a comparative analysis of several alternatives has carried out for justification the decision to improving the design of existing plows in order of optimization the mechanized planting of forest cultures. It is shown that a systematic approach helps to substantiate the feasibility of introducing a new design development taking into account several criteria: expanding the functionality, reducing the cost of planting material and using in certain natural and geographical conditions.

**Keywords:** system approach, method of comparison of alternatives, comparison criteria, multi-criteria approach, plow design, micro-raising.

### **Введение**

Обоснование инженерных решений при модернизации технических устройств представляет значительную сложность из-за необходимости выбора лучшего варианта из нескольких по множеству показателей. В этом случае на помощь приходят методы системного анализа [1], в частности метод сравнения альтернатив [2-4]. Рассмотрим применение метода сравнения альтернатив для выбора плуга оптимальной конструкции.

В условиях временно переувлажненных почв применяют технологию, основанную на образовании микроповышений под посадку лесных культур [5-8]. Данная технология используется для того, чтобы, сохранить посаженные растения от излишней влаги. Она нашла свое применение в зоне средней тайги и в районах, где влажность почвы превышает нормы, и получила широкое распространение ввиду возможности применения механизированной посадки и ухода за лесными культурами. На площадях с избыточным переувлажнением борозды проводят так, чтобы в отваленные пласты можно было высаживать сеянцы, либо высевать семена. При этом следует добиться более плотного прилегания отваленного пласта к поверхности почвы.

Непрерывные микроповышения представляют собой гребни линейной высотой менее 25 см. Шаг посадки зависит от выбранного типа лесопосадочной машины и, в основном, составляет 0,5 – 1,5 м [9]. В настоящее время главная задача при посадке саженцев – обеспечить стабильность микроповышений в условиях временно переувлажненных почв, поскольку оно существенно влияет на приживаемость растений. В настоящее время на территории Российской Федерации для решения этой задачи применяются плуг дисковый ПДВ-1,5, трехрядный культиватор Braske M36.b и плуг ПЛМ-1,5. Кроме того, нами была предложена модернизация плуга ПЛМ-1,5 путем замены корпуса с винтовыми отвалами на полувинтовые, добавления катка-уплотнителя и сферических дисков, которые являются продолжениями отвалов.

Целью настоящей работы является сравнение эффективности приведенных выше орудий с модернизированным плугом по таким критериям, как материал и особенности использования в климатических условиях Российской Федерации, расширение функциональных возможностей, сокращение расходов на посадочный материал.

### **Описание альтернатив**

Составим таблицу альтернативных вариантов плугов (таблица 1) и опишем их недостатки и достоинства.

Таблица 1

Альтернатива	Вариант плуга
Альтернатива №1	дисковый плуг ПДВ-1,5
Альтернатива №2	трехрядный культиватор Bracke M36.b
Альтернатива №3	лемешный плуг ПЛМ-1,5
Альтернатива №4	модернизированный плуг

Недостатком результата обработки почвы дисковым плугом ПДВ-1,5 (альтернатива № 1) является наличие пустот между пластами и то, что образованные гребни неустойчивы и склонны к разрушению и возврату в борозду [7].

К достоинствам трехрядного культиватора Bracke M36.b (альтернатива № 2) можно отнести простоту конструкции и возможность использования на вырубках с различным рельефом местности. Однако, на практике наблюдается плохая выживаемость посаженных растений, так как рядом с формируемым холмиком образуется микропонижение, что ведет к подтоплению корневых систем высаживаемых растений. Также при дальнейшем уходе и посадке выявилась большая трудоемкость и низкая производительность.

При использовании лемешного плуга ПЛМ-1,5 (альтернатива № 3) наряду с хорошей подготовкой микроповышений были замечены неустойчивость образованных гребней, склонных к разрушению и возврату в борозду, и наличие пустот между пластами. Кроме того, при выборе орудия приходилось учитывать большую стоимость изготовления винтового отвала [7].

После проведенной нами модернизации плуга ПЛМ-1,5 (альтернатива № 4) при движении агрегата происходит подрезание лемехами пластов почвы, которые далее проходят по поверхности отвалов и дисков, хорошо оборачиваются с минимизацией возврата их обратно в борозду и формируют микроповышение, а идущий сзади каток уплотняет для исключения образования воздушных пустот и формирует профиль гребня. Это позволяет добиться хорошей приживаемости посаженных растений.

### **Распределение критериев по значимости**

Для сравнения альтернатив выбираем следующие критерии: расширение функциональных возможностей, сокращение расходов на посадочный материал и использование в природно-географических условиях Российской Федерации. Так как для проведения лесовосстановления на вырубках временно-переувлажняемых почв необходимо соблюдать определенные технологические требования, то главным по значимости критерием был выбран критерий рас-

ширения функциональных возможностей (функциональный критерий). Вторым по значимости критерием стало использование в условиях Российской Федерации (целевой критерий), а третьим – сокращение расходов на посадочный материал (критерий быстроты внедрения).

### Сравнение альтернатив

Сравнительный анализ между орудиями для основной обработки почвы проводим с помощью многокритериального анализа альтернатив Т. Саати [2]. Индикатор сравнения по каждой альтернативе формируется как

$$\omega_{js} = \sum_i \omega_i \omega_{ij}, \quad (1)$$

где  $\omega_i$ ,  $\omega_{ij}$  – компоненты матрицы попарного сравнения критериев и собственных векторов матриц попарного сравнения альтернатив по каждому критерию, которые рассчитываем по элементам значимости критериев и сравнения альтернатив ( $a_i$ ) по соотношению:

$$\omega_i = \sqrt[k]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot a_{i3}}, \quad (2)$$

Нормировку осуществляем по формуле:

$$\omega_i^{jn} = \frac{\omega_i^j}{\sum_{j=1}^k \omega_i^j}, \quad (3)$$

где  $i$  – номер критерия,  $j$  – номер альтернативы.

Математические расчеты проводим с помощью таблиц Excel (рис. 1).

Целевой						
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг лемешный ПЛМ-1.5	Плуг дисковый ПЛД-1.2	Культиватор Враске М36.б		
Плуг модерниз.	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	0.3
Плуг лемешный ПЛМ-1.5	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	0.3
Плуг дисковый ПЛД-1.2	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	0.3
Культиватор Враске М36.б	0.333	0.333	0.333	1,000	0.333	0.1
					3.333	
Функциональный						
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг лемешный ПЛМ-1.5	Плуг дисковый ПЛД-1.2	Культиватор Враске М36.б		
Плуг модерниз.	1,000	7,000	9,000	3,000	3,979	0.542522
Плуг лемешный ПЛМ-1.5	0.143	1,000	3,000	0.200	0.754	0.102797
Плуг дисковый ПЛД-1.2	0.111	0.333	1,000	0.143	0.333	0.045448
Культиватор Враске М36.б	0.333	5,000	7,000	1,000	2.268	0.309233
Потребность	20	12	5		7.334	
Быстрое внедрение						
Альтернативы	Плуг модерниз.	Плуг лемешный ПЛМ-1.5	Плуг дисковый ПЛД-1.2	Культиватор Враске М36.б		
Плуг модерниз.	1,000	3,000	5,000	1,000	2.466	0.636986
Плуг лемешный ПЛМ-1.5	0.333	1,000	3,000	0.333	1,000	0.258285
Плуг дисковый ПЛД-1.2	0.200	0.333	1,000	0.200	0.405	0.104729
Культиватор Враске М36.б	1,000	3,000	5,000	1,000	2.466	0.636986
					3.872	
Сравнение критериев						
Функциональный	Функциональный	Быстрое внедрение	Целевой			
Функциональный	1,000	5,000	3,000	2.466	0.672687	
Быстрое внедрение	0.200	1,000	0.333	0.200	0.054552	
Целевой	0.333	3,000	1,000	1,000	0.272761	

Рисунок 1 – Электронная таблица для метода сравнения альтернатив

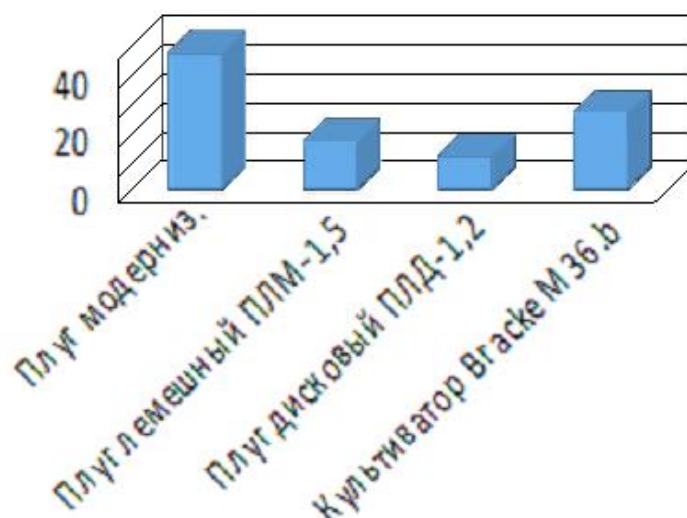


Рисунок 2 – Результат сравнения альтернатив

Результат многокритериального анализа представлен на рисунке 2. Он показывает преимущество модернизированного плуга-гребнеобразователя по сравнению с существующими аналогами.

### Заключение

В результате исследования выяснилось, что оптимальными характеристиками и значительным преимуществом в наших природных условиях при требуемом соблюдении технологий обладает модернизированный плуг, который при образовании микроповышений уплотняет грунт с помощью катка.

Таким образом, в представленной работе показано применение одного из методов системного анализа к обоснованию целесообразности внедрения новой конструкторской разработки с учетом нескольких критериев.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 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.

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

3 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.

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 Бартенева, И. М. Расчет и проектирование лесохозяйственных машин / И. М. Бартенева. – Воронеж : ВГЛТА, 2001. – 262 с.

6 Винокуров, В. Н. Лесохозяйственные машины и их применение / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев. – Москва : МГУЛ, 1999. – 234 с.

7 Винокуров, В. Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства : учеб. для вузов / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, А. А. Золотаревский. – Москва : Академия, 2004. – 400 с.

8 Еремин, Н. В. Система машин в лесном хозяйстве : учеб. пособие / Н. В. Еремин. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2003. – 301 с.

9 Калиниченко, Н. П. Лесовосстановление на вырубках / Н. П. Калиниченко, А. И. Писаренко, Н. А. Смирнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Экология, 1991. – 384 с.