

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6383

УДК 630\*36

Статья

## Математическое моделирование оценки степени покрытия растительностью территорий инфраструктурных объектов

**Платонов Алексей Александрович**

*кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный университет путей сообщения (Российская Федерация), [raa7@rambler.ru](mailto:raa7@rambler.ru)*

**Платонова Марина Алексеевна**

*кандидат технических наук, Воронежский институт высоких технологий (Российская Федерация), [m.platonova@vfrgups.ru](mailto:m.platonova@vfrgups.ru)*

*Получена: 28 апреля 2022 / Принята: 11 ноября 2022 / Опубликовано: 15 ноября 2022*

---

**Аннотация:** В рамках надлежащего содержания ряда линейных инфраструктурных объектов (полос отвода автомобильных и железных дорог, охранных зон линий электропередачи, трасс газо-, нефте- и продуктопроводов и иных) нередко на их территориях осуществляют удаление произрастающей нежелательной древесно-кустарниковой растительности. Авторами статьи было установлено, что при организации и проведении указанных работ не уделяется должного внимания вопросам оценки их качества. Существующие способы и методы оценки качества работ по удалению нежелательной растительности не обеспечивают объективного суждения об эффективности выполненных мероприятий по очистке территорий инфраструктурных объектов от указанной растительности, при этом в качестве оценочного критерия практически повсеместно используется показатель густоты произрастающей на площади в 1 га растительности. Выявлено, что данный показатель, определяемый с большой долей субъективности, не всегда способен адекватно оценить степень зарастания обследуемой территории. Целью исследования являлась разработка математической модели оценки степени покрытия нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий инфраструктурных объектов с обоснованием критерия, позволяющего оценить качество выполнения работ по удалению указанной растительности. Для реализации целей исследования авторами была разработана математическая модель, учитывающая предварительно выявляемые характеристики произрастающей растительности

(количество экземпляров, площадь проекций крон) и параметры обследуемой территории (площадь исследуемого участка и фактическая площадь, на которой произведено удаление растительности) и иные параметры. В качестве выходного показателя разработанной математической модели авторами предложено использовать критерий непроеKTного покрытия территорий нежелательной растительностью. В статье представлен пример оценки качества выполняемых мероприятий по удалению растительности с территории полосы отвода железных дорог для ряда исходных данных. Разработанный авторами критерий непроеKTного покрытия территорий линейных инфраструктурных объектов нежелательной древесно-кустарниковой растительностью может быть применён при организации работ по удалению указанной растительности для обоснования применения необходимой системы машин и механизмов, а также при оценке качества выполнения работ по очистке территорий инфраструктурных объектов от нежелательной растительности.

**Ключевые слова:** инфраструктурный объект; растительность; удаление; работа; оценка; критерий; моделирование

---

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6383

Article

## Mathematical modeling of the assessment of the degree of vegetation coverage of the territories of infrastructure facilities

**Alexey Platonov**

*Ph. D. in engineering, associate Professor, Rostov State Transport University (Russian Federation),  
paa7@rambler.ru*

**Marina Platonova**

*Ph. D. in engineering, Voronezh Institute of High Technologies (Russian Federation),  
m.platonova@vfrgups.ru*

*Received: 28 April 2022 / Accepted: 11 November 2022 / Published: 15 November 2022*

---

**Abstract:** Removal of growing undesirable vegetation is often performed to properly maintain linear infrastructure facilities (easement areas for roads and railways, shelterbelts for power lines, gas, oil and product pipelines, and others). The authors of the article found that when these operations are organized and performed their quality is not assessed in a proper way. The existing methods and practices for assessing the quality of removal undesirable vegetation operations fail to provide an objective judgment on the effectiveness of activities to clear the infrastructure facilities areas from this vegetation. The density indicator of vegetation growing on an area of 1 hectare is almost universally used as an evaluation criterion. The authors revealed that this indicator features a high degree of subjectivity and does not provide adequate assessment of the degree of trees and shrubs vegetation colonization on the surveyed area. The aim of the study was to develop a mathematical model to assess the degree of infrastructural facilities coverage with undesirable vegetation and to substantiate a criterion that allows assessing the quality of work performed to remove this vegetation. The developed mathematical model takes into account previously identified characteristics of growing vegetation (plants number, crown projection area) and parameters of the surveyed area (studied area acreage and the actual area where vegetation was removed) and other parameters. As an output indicator of the developed mathematical model the authors proposed to use the criterion of non-project coverage of territories with undesirable vegetation. The article presents an example of assessing the quality of operations for vegetation removing from the easement areas of railways for a number of initial data. The criterion developed by the authors for non-project coverage

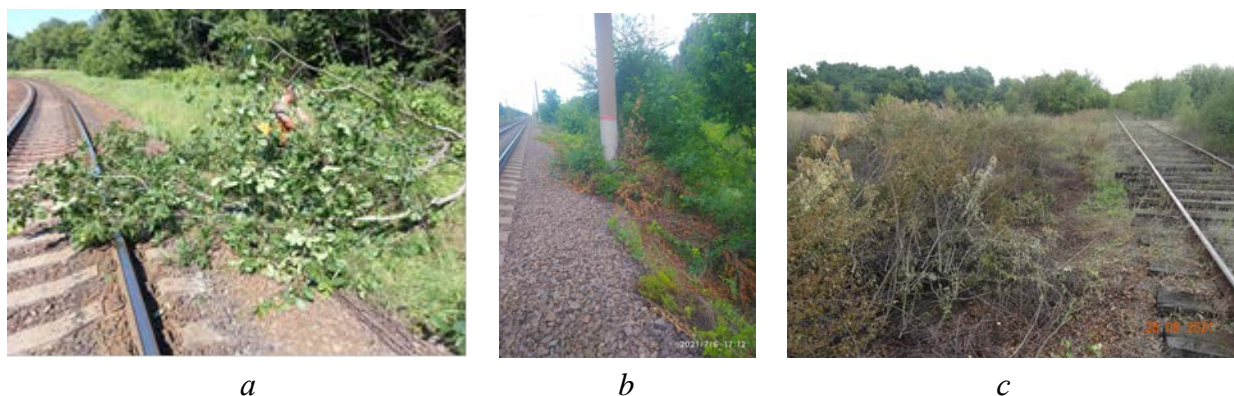
of the territories of linear infrastructure facilities with undesirable trees and shrubs vegetation may be used when organizing vegetation removal to justify the use of the necessary system of machines and mechanisms. The criterion may be applied to assess the quality of cleaning the infrastructure facilities areas from undesirable vegetation.

**Keywords:** infrastructure facility; vegetation; removal; operation; evaluation; criterion; modeling

---

## 1. Введение

В настоящее время в рамках нормативного содержания территорий таких линейных инфраструктурных объектов, как полосы отвода автомобильных и железных дорог, охранных зон линий электропередачи, трасс газо-, нефте- и продуктопроводов [1—4], нередко предусмотрено выполнение работ по удалению произрастающей нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР). Очистка указанных территорий от одиночных или куртинно произрастающих экземпляров НДКР [5] осуществляется или силами работников соответствующих сетевых организаций (например, работниками путевого хозяйства ОАО РЖД, ответственными за поддержание полосы отвода железной дороги в нормативном состоянии), или силами подрядных и субподрядных организаций, привлекаемых на правах аутсорсинга [6], [7]. Однако выполненными нами в 2021 г. исследованиями было установлено, что при организации и проведении работ по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий различных инфраструктурных объектов [8] не уделяется должного внимания вопросам оценки качества выполненных работ (фото 1, здесь и далее зафиксировано авторами).



**Фото 1.** Порубочные остатки на территории участка железной дороги:  
*a* — Лебеди — Сараевка (Чаплыжное, 69 км, пк 9—10), июнь 2021 г.;  
*b* — Таловая — Лиски (Хреновая, 235 км — 237 км), июль 2021 г.;  
*c* — Томаровка — Строитель (1 км, 4 пк — 3 км, 9 пк), август 2021 г.

**Photo 1.** Logging residues on the territory of the railway section: **(a)** Lebedi — Saraevka (Chaplyzhnoye, 69 km, checkpoint 9—10), June 2021; **(b)** Talovaya — Liski (Khrenovaya, km 235—237), July 2021; **(c)** Tomarovka — Stroitel (1 km, 4 checkpoint — 3 km, 9 checkpoint), August 2021

Нами было выявлено несколько разнообразных способов и методов оценки качества работ по удалению НДКР при фактически полном отсутствии каких-либо критериев, однозначно определяющих степень качества и эффективности выполненных мероприятий по очистке территорий инфраструктурных объектов от нежелательной древесно-кустарниковой

растительности, а также большой доли субъективности в применяемых способах/методах оценки. При этом нами было установлено, что указанная оценка при формировании акта приёмки работ по удалению НДКР нередко вообще не предусмотрена соответствующим техническим заданием или осуществляется формально путём однокритериальной оценки по «объёму» удаления растительности (фактически — по площади, «пройденной» организацией-исполнителем рассматриваемых работ).

С учётом вышеизложенного целью настоящего исследования являлась разработка математической модели оценки степени покрытия нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий инфраструктурных объектов с обоснованием критерия, позволяющего оценить качество выполнения работ по удалению указанной растительности.

## 2. Материалы и методы

Вопросу наличия или отсутствия произрастающей нежелательной растительности уделяется достаточно много внимания как в отечественной [9—12], так и в зарубежной [13—16] научно-технической литературе и нормативно-справочной документации, однако нами было установлено, что практически всегда [17] в указанных документах рассматривается лишь проблема оценки наличия на той или иной территории нежелательной растительности с целью обоснования необходимости её удаления (в т. ч. аргументирования применения требуемой системы машин и механизмов). При этом в качестве оценочного критерия в подавляющем большинстве случаев рассматривается так называемая «густота» произрастания растительности, определяемая (с большой долей субъективности, нередко лишь визуально, на глаз) как количество экземпляров нежелательной растительности, произрастающей на обследуемой территории площадью 1 га. Объяснением этого является, на наш взгляд, то, что в отличие от ряда таких (выявленных нами) оценочных критериев, как соответствие фактических сроков выполнения работ предусмотренным договором срокам, соблюдение исполнителем работ технологической последовательности операций, наличие у организации-исполнителя работ необходимых машин и механизмов и т. д., критерий густоты растительности, основанный на визуальном восприятии очищаемой от НДКР территории, наиболее нагляден как простому обывателю, так и контролирующим органам.

Между тем показатель густоты нежелательной растительности, при всей общепризнанности данного критерия, не всегда способен адекватно оценить степень зарастания обследуемой территории. Нежелательная растительность, фиксируемая на ряде инфраструктурных объектов в зимних условиях при отсутствии её облиствления (или при начальной её стадии, фото 2а), способна формировать совершенно иное представление о степени зарастания территории инфраструктурного объекта в летних условиях (фото 2б) при полностью выпущенных и выросших до нормального размера листовых пластинках. Аналогично, несколько экземпляров НДКР, находящихся в начальной стадии своего развития (фото 2с; ближняя опора ЛЭП), могут оказать гораздо меньшее впечатление на наблюдателя о степени зарастания обследуемой территории по сравнению с единичным

(но при этом разросшимся и облиственным) экземпляром нежелательной растительности (фото 2с; дальняя опора ЛЭП).



**Фото 2.** Нежелательная растительность на территориях трасс линий электропередачи: *a* — ПС КБХА — ПС Южная, апрель 2022 г.; *b* — ПС КБХА — ПС Южная, июль 2021 г.; *c* — ПС Красная Яруга — ПС Томаровка, август 2021 г.

**Photo 2.** Undesirable vegetation on the areas of power transmission lines: (a) TS KBKhA — TS Yuzhnaya, April 2022; (b) TS KBKhA — TS Yuzhnaya, July 2021; (c) TS Krasnaya Yaruga — TS Tomarovka, August 2021

С учётом вышеизложенного нами для оценки качества выполнения работ по удалению нежелательной растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов был разработан критерий непроектного покрытия указанных территорий нежелательной древесно-кустарниковой растительностью, который позволяет учесть не только количество экземпляров НДКР на обследуемой территории (оставшихся после выполнения работ по удалению НДКР), но и величину проекций крон нежелательной растительности на поверхность данной территории.

Выполненное нами исследование было основано в целом на методах математического моделирования.

### 3. Результаты

При разработке критерия  $I_{уч\ ндкр}^k$  непроектного покрытия территорий линейных инфраструктурных объектов нежелательной древесно-кустарниковой растительностью нами принималась во внимание необходимость учёта как характеристик произрастающей НДКР, так и параметров обследуемой территории, а следовательно, данный критерий основан

на результатах обследования указанных территорий на предмет выявления наличия/отсутствия произрастающей нежелательной растительности. Отметим, что такое обследование осуществляется по разработанной нами «Методике оценки качества и эффективности выполнения работ по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов» (детальное изложение которой не входит в цели и задачи данной статьи), что обуславливало необходимость учёта особенностей методики определения характеристик как растительности, так и обследуемой территории, а также особенностей камеральной обработки полученных данных.

Отметим, что в соответствии с вышеуказанной методикой после выполнения работ по удалению с территории инфраструктурного объекта нежелательной растительности осуществляется контрольное таксационное обследование данной территории путём закладки учётных площадок, на каждой из которых фиксируются количество произрастающих экземпляров НДКР, а также степень непроеKTного покрытия площади указанной учётной площадки. При камеральной обработке полученных данных обследованная территория разбивается на ряд элементарных участков одинаковой площади, а сами данные переносятся в Ведомость оценки покрытия площади участков линейного инфраструктурного объекта нежелательной растительностью (таблица).

**Таблица.** Ведомость оценки покрытия площади участков линейного инфраструктурного объекта нежелательной древесно-кустарниковой растительностью

**Table.** Statement for assessing the coverage of the area of sections of a linear infrastructure facility with undesirable tree and shrub vegetation

Номер элементарного участка	Учётная площадка															Индекс покрытия площади $I_{пл\ ндкр}^k$										
	1					2					...						$N_{уч}^k$									
1	x	x	x	x	x																					
	x	x	x	x	x																					
2																										
...																										
$N_{уч}^k$																										



Для каждой учётной площадки в данной ведомости предусмотрено 10 подобластей (для примера отмечены знаком «х» для 1-го элементарного участка 1-й учётной площадки), при этом графически каждая подобласть соответствует 10 % непроеKTного покрытия площади соответствующего элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью. Указанное непроеKTное покрытие участков ЛИО заносится в вышеприведённую ведомость по сведениям Карточек таксации контрольного обследования данных участков. При этом для большей наглядности целесообразно соблюдать выявленное в натуре месторасположение непроеKTного покрытия площади нежелательной растительностью (особенно для учётных площадок прямоугольной формы).

Входные параметры и выходной показатель разработанной нами математической модели выявления степени непроеKTного покрытия представлены графически на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Схема формирования математической модели выявления степени непроеKTного покрытия нежелательной растительностью

**Figure 1.** Scheme of a mathematical model formation to identify the degree of non-project coverage with undesired vegetation

При формировании математической модели выявления степени непроеKTного покрытия территорий линейных инфраструктурных объектов нежелательной растительностью применяются такие, выявляемые в ходе натурального обследования указанных территорий параметры растительности, как количество экземпляров нежелательной древесно-кустарниковой растительности  $N^{ндкр}$  и площадь непроеKTного покрытия обследуемых территорий проекциями крон растительности  $S^{кр\ ндкр}$  ( $m^2$ ). Кроме того, при формировании модели учитываются параметры обследуемых территорий (площадь участка линейного

инфраструктурного объекта  $S_{ЛИОу}$ , м<sup>2</sup>; фактическая площадь, на которой произведено удаление нежелательной растительности  $S_{ЛИОф}^{ндкр}$ , м<sup>2</sup>; контрольная площадь участка линейного инфраструктурного объекта  $S^{кндкр}$ , м<sup>2</sup>), а также особенности применяемой методики обследования (принятая к обследованию площадь одной учётной площадки  $S_{ун}$ , м<sup>2</sup>; общее количество учётных площадок  $N_{ун}$ ; общее количество элементарных участков обследуемой территории  $N_{уч}^к$ ; количество учётных площадок, применяемых для контрольного обследования каждого элементарного участка  $N_{ун}^к$ ).

В целом указанную математическую модель можно представить в виде системы следующих уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} S^{кндкр} = N_{ун} \cdot S_{ун}; \\ S_{эундкр}^к = \frac{S^{кндкр}}{N_{учнач}^к}; \\ N_{ун}^к = \frac{S_{эундкр}^к}{S_{ун}}; \\ \left[ I_{учндкр}^{к w\%} \right] = 10, 15, 20, 30\%; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_{плндкр}^к = \frac{\sum_j^p S_{унндкрj}^к}{N_{ун}^к} \cdot 100\% \\ I_{учндкр}^{к w\%} = \frac{N_{учндкр}^{к w\%}}{N_{учндкр}^к} \cdot 100\% \\ I_{учндкр}^к = \frac{N_{учндкр}^к}{N_{уч}^к} \cdot 100\% \\ \left[ I_{учндкр}^к \right] = 5, 10, 15\% \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $S_{эундкр}^к$  — площадь одного элементарного участка линейного инфраструктурного объекта, м<sup>2</sup>;  $N_{учнач}^к$  — начальное количество элементарных участков ( $N_{учнач}^к = 100, 200, 300, \dots$ );  $S_{унндкрj}^к$  — процентное покрытие площади  $j$ -й учётной площадки участка обследуемой территории с зафиксированным на ней произрастанием НДКР;  $N_{учндкр}^{к w\%}$  — количество выявленных участков обследуемой территории с непроектным покрытием не более  $w\%$  площади каждого участка линейного инфраструктурного объекта нежелательной древесно-кустарниковой растительностью, где уровень наличия растительности  $w = 10, 15, 20$  или  $30$ ;  $N_{учндкр}^к$  — общее количество выявленных участков обследуемой территории с непроектным произрастанием нежелательной растительности;  $I_{плндкр}^к$  — индекс контроля покрытия площади участков обследуемой территории нежелательной растительностью;  $I_{учндкр}^{к w\%}$  — индекс контроля количества участков обследуемой территории с непроектным покрытием не более  $w\%$  площади каждого участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью, где уровень наличия

растительности  $w = 10, 15, 20$  или  $30$ ;  $I_{уч\ ндкр}^k$  — индекс контроля количества участков обследуемой территории с непроектным произрастанием НДКР.

Данная математическая модель была апробирована нами в 2021 г. на ряде участков инфраструктурных объектов Центральной России путём осуществления их таксационного обследования, при этом были получены протоколы испытаний и акты внедрения в производственный процесс.

В качестве примера рассмотрим определение оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДКР с территории полосы отвода железных дорог для следующих исходных данных.

Выполнено контрольное таксационное обследование линейного инфраструктурного объекта «Пункт 1 — Пункт 2» протяжённостью 72 км. Контролируемый участок имеет протяжённость 1 км, при этом площадь обследуемой территории данного участка составила  $S_{уч\ ндкр}^k = 500\text{ м}^2$ . Обследование проводилось глазомерно-измерительным способом с применением прямоугольных учётных площадок площадью  $S_{yn} = 1\text{ м}^2$  с одинарным интервалом их расположения по контролируемой площади.

Применив рекомендации Методики таксационного обследования линейного инфраструктурного объекта в части возможности разделения обследуемой территории при камеральной обработке экспериментальных данных на элементарные участки, разделим контролируемый участок на 100 частей (начальное количество элементарных участков  $N_{уч\ нач}^k = 100$ ) с основной частью площади обследуемого участка ЛИО  $S_{осн}^k = 500\text{ м}^2$ . При этом получим один элементарный участок обследованной территории площадью:

$$S_{эу\ ндкр}^k = \frac{S_{осн}^k}{N_{уч\ нач}^k} = \frac{500}{100} = 5\text{ м}^2. \quad (2)$$

Количество учётных площадок, применяемых для контрольного обследования каждого элементарного участка, будет равно:

$$N_{yn}^k = \frac{S_{эу\ ндкр}^k}{S_{yn}} = \frac{5}{1} = 5. \quad (3)$$

Сформируем ведомость оценки покрытия площади участка полос отвода железной дороги «Пункт 1 — Пункт 2» нежелательной древесно-кустарниковой растительностью. Указанную ведомость формируем по результатам вышеприведённых вычислений для 100 элементарных участков с количеством учётных площадок  $N_{yn}^k = 5$ . Переносим в данную ведомость сведения о выявленном (в результате контрольного таксационного обследования) непроектном покрытии площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью. Указанные сведения отмечаем в ведомости для каждой учётной площадки с соблюдением выявленного в природе месторасположения непроектного

покрытия площади нежелательной растительностью. В целях наглядности данная ведомость (рисунок 2) приведена в сокращённом виде с указанием элементарных участков с наибольшим непроецируемым покрытием их площади растительностью.

Номер элементарного участка	Учётная площадка					Индекс покрытия площади $I_{пл\ ндкр}^k$	Номер элементарного участка	Учётная площадка					Индекс покрытия площади $I_{пл\ ндкр}^k$			
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5				
5	■	■				14	61	■	■	■	■	■	■	■	■	28
8	■	■	■	■	■	40	63	■	■	■	■	■	■	■	■	44
14	■	■	■	■	■	18	67	■	■	■	■	■	■	■	■	26
19	■	■	■	■	■	38	70	■	■	■	■	■	■	■	■	18
25	■	■	■	■	■	44	73	■	■	■	■	■	■	■	■	30
29	■	■	■	■	■	10	74	■	■	■	■	■	■	■	■	38
33	■	■	■	■	■	42	77	■	■	■	■	■	■	■	■	32
34	■	■	■	■	■	18	79	■	■	■	■	■	■	■	■	18
37	■	■	■	■	■	30	82	■	■	■	■	■	■	■	■	16
42	■	■	■	■	■	36	84	■	■	■	■	■	■	■	■	34
45	■	■	■	■	■	40	87	■	■	■	■	■	■	■	■	26
47	■	■	■	■	■	32	90	■	■	■	■	■	■	■	■	12
51	■	■	■	■	■	10	92	■	■	■	■	■	■	■	■	34
53	■	■	■	■	■	30	94	■	■	■	■	■	■	■	■	40
60	■	■	■	■	■	16	97	■	■	■	■	■	■	■	■	32

**Рисунок 2.** Пример ведомости оценки покрытия площади участков линейного инфраструктурного объекта нежелательной растительностью

**Figure 2.** An example of an assessment sheet for area coverage of a linear infrastructure facility with undesirable vegetation

Вычисление индекса контроля  $I_{пл\ ндкр}^k$  покрытия площади элементов рассматриваемого участка линейного инфраструктурного объекта нежелательной растительностью и анализ полученных результатов позволил выявить следующее.

Несмотря на то, что полностью заросшие НДКР элементарные участки контролируемого участка инфраструктурного объекта (с 90—100 % покрытия их площади) отсутствуют, нами были выявлены элементарные участки (количеством  $N_{уч\ ндкр}^k = 30$ ) с произрастающей на их территории нежелательной древесно-кустарниковой растительностью различной степени непроецируемого покрытия площади указанных участков. Учитывая, что общее количество обследованных элементарных участков  $N_{уч}^k = 100$ , величина индекса контроля

количества элементарных участков с непроектным произрастанием НДСР  $I_{уч\ НДСР}^K$  будет равна:

$$I_{уч\ НДСР}^K = \frac{N_{уч\ НДСР}^K}{N_{уч}^K} \cdot 100\% = \frac{30}{100} \cdot 100\% = 30\% \quad (4)$$

Принимая во внимание, что полученная величина  $I_{уч\ НДСР}^K = 30\%$  превышает максимально допустимые значения данного индекса (для оценки «отлично» [ $I_{уч\ НДСР}^K$ ] = 5 %, для оценки «хорошо» [ $I_{уч\ НДСР}^K$ ] = 10 %, для оценки «удовлетворительно» [ $I_{уч\ НДСР}^K$ ] = 15 %), можно сделать следующий вывод: учитывая рекомендации Методики таксационного обследования линейных инфраструктурных объектов в части Критериев оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДСР с территории полос отвода железных дорог, при величине индекса  $I_{уч\ НДСР}^K = 30\%$  качество выполненных мероприятий по удалению НДСР с территории участка полосы отвода железной дороги «Пункт 1 — Пункт 2» заслуживает предварительную оценку «неудовлетворительно».

В случае получения величины  $I_{уч\ НДСР}^K$ , соответствующей предварительной оценке «удовлетворительно», «хорошо» или «отлично», необходимо провести более детальное изучение полученных результатов контрольного таксационного обследования, пример которого приведён ниже.

На целом ряде элементарных участков контролируемой территории полосы отвода железных дорог выявлено непроектное произрастание нежелательной растительности с наименьшим (10—18 % на участках с № 5, 14, 29, 34, 51, 60, 70, 79, 82 и 90) и наибольшим (40—44 % на участках с № 8, 25, 33, 45 и 63) процентом покрытия площади указанных элементарных участков. Например, для элементарного участка № 25 суммарный процент покрытия его площади  $\sum S_{уп\ НДСР\ j}^K = 220$  (для 1-й учётной площадки 50 %, для 2-й — 40 %, для 3-й — 30 %, для 4-й — 40 %, для 5-й — 60 %), что при количестве учётных площадок  $N_{уп}^K = 5$  обуславливает 44 % покрытия площади указанного элементарного участка нежелательной растительностью.

С учётом выполненного для всех элементарных участков расчёта индекса  $I_{пл\ НДСР}^K$  контроля покрытия их площади нежелательной растительностью выявим накопленный процент количества указанных участков непроектного покрытия НДСР при помощи индекса  $I_{уч\ НДСР}^{K\ w\%}$  для установления соответствия контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно».

Для уровня наличия растительности  $w = 10\%$  индекс контроля количества элементарных участков с непроектным покрытием не более  $10\%$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью определится как:

$$I_{уч\ ндкр}^{к\ 10\%} = \frac{N_{уч\ ндкр}^{к\ 10\%}}{N_{уч\ ндкр}^{к}} \cdot 100\% = \frac{2}{30} \cdot 100\% = 6,67\%, \quad (5)$$

где  $N_{уч\ ндкр}^{к\ 10\%} = 2$  — количество выявленных элементарных участков с непроектным покрытием не более  $10\%$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью.

Ввиду того, что величина индекса контроля  $I_{уч\ ндкр}^{к\ 10\%} = 6,67\% < [I_{уч\ ндкр}^{к\ 10\%}] = 75\%$ , дальнейшую проверку на соответствие контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «отлично» (а именно: на остальных элементарных участках нежелательной растительностью должно быть занято не более  $15\%$  площади каждого участка) не осуществляем.

Аналогично для уровня наличия растительности  $w = 15\%$ :

$$I_{уч\ ндкр}^{к\ 15\%} = \frac{N_{уч\ ндкр}^{к\ 15\%}}{N_{уч\ ндкр}^{к}} \cdot 100\% = \frac{4}{30} \cdot 100\% = 13,33\%, \quad (6)$$

где  $N_{уч\ ндкр}^{к\ 15\%} = 4$  — количество выявленных элементарных участков с непроектным покрытием не более  $15\%$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью.

Ввиду того, что величина индекса контроля  $I_{уч\ ндкр}^{к\ 15\%} = 13,33\% < [I_{уч\ ндкр}^{к\ 15\%}] = 50\%$ , дальнейшую проверку на соответствие контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «хорошо» (а именно: на остальных элементарных участках нежелательной растительностью должно быть занято не более  $20\%$  площади каждого участка) не осуществляем.

Аналогично для уровня наличия растительности  $w = 20\%$ :

$$I_{уч\ ндкр}^{к\ 20\%} = \frac{N_{уч\ ндкр}^{к\ 20\%}}{N_{уч\ ндкр}^{к}} \cdot 100\% = \frac{10}{30} \cdot 100\% = 33,33\%, \quad (7)$$

где  $N_{уч\ ндкр}^{к\ 20\%} = 10$  — количество выявленных элементарных участков с непроектным покрытием не более  $20\%$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью.

Ввиду того, что величина индекса контроля  $I_{уч\ ндкр}^{к\ 20\%} = 33,33\% > [I_{уч\ ндкр}^{к\ 20\%}] = 25\%$ , осуществляем дальнейшую проверку на соответствие контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «удовлетворительно» (а именно: на остальных элементарных участках нежелательной растительностью должно быть занято не более 30 % площади каждого участка).

Для уровня наличия растительности  $w = 30\%$ :

$$I_{уч\ ндкр}^{к\ 30\%} = \frac{N_{уч\ ндкр}^{к\ 30\%}}{N_{уч\ ндкр}^{к}} \cdot 100\% = \frac{16}{30} \cdot 100\% = 53,33\%, \quad (8)$$

где  $N_{уч\ ндкр}^{к\ 30\%} = 16$  — количество выявленных элементарных участков с непроектным покрытием не более 30 % площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью.

Принимая во внимание, что полученная величина  $I_{уч\ ндкр}^{к\ 30\%} = 53,33\%$  меньше допустимого значения данного индекса ( $[I_{уч\ ндкр}^{к\ 30\%}] = 100\%$ ), предположение о соответствии контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «удовлетворительно» не подтверждено.

По результатам определения оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДКР с территории полосы отвода железных дорог сформируем следующее **«ЗАКЛЮЧЕНИЕ к контрольному таксационному обследованию участка»:**

Для оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДКР с территории полосы отвода железных дорог было выполнено контрольное таксационное обследование линейного инфраструктурного объекта «Пункт 1 — Пункт 2» протяжённостью 72 км, при этом контролируемый участок имел протяжённость 1 км, а площадь обследуемой территории данного участка составила  $S^{к\ ндкр} = 500\text{ м}^2$ . При камеральной обработке экспериментальных данных контролируемый участок был разделён на 100 частей (элементарных участков), каждый площадью 5 м<sup>2</sup>.

Детальное изучение полученных результатов контрольного таксационного обследования позволило выявить непроектное произрастание нежелательной растительности с наименьшим (10—18 %) и наибольшим (40—44 %) процентом покрытия площади указанных элементарных участков, при этом полностью заросшие НДКР элементарные участки контролируемого инфраструктурного объекта (с 90—100 % покрытия их площади) отсутствуют.

В соответствии с Методикой таксационного обследования линейных инфраструктурных объектов была рассчитана величина Критерия оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДКР с территории полосы отвода железной дороги, выполнено его сравнение с граничными значениями данного критерия. Результаты указанных расчётов и сравнений

для установления соответствия контролируемого участка полосы отвода железных дорог оценке «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» показали следующее.

Величина индекса контроля количества элементарных участков с непроектным произрастанием НДКР  $I_{уч\ ндкр}^k = 30\%$  превышает максимально допустимые значения данного индекса: для оценки «отлично» — на 25 %, для оценки «хорошо» — на 20 %, для оценки «удовлетворительно» — на 15 %.

Для различного уровня наличия растительности ( $w = 10, 15, 20$  и  $30\%$ ) величина индекса  $I_{уч\ ндкр}^{k\ w\%}$  контроля количества элементарных участков с непроектным покрытием не более  $w$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью в 75 % случаев не превышает минимально допустимые граничные значения данного индекса, при этом для оценки «отлично» выявлено несоответствие в  $-68,33\%$ , для оценки «хорошо» определено несоответствие в  $-36,67\%$ , для оценки «удовлетворительно» установлено соответствие в  $8,33\%$  (при проверке дополнительного показателя — несоответствие в  $-46,67\%$ ).

Ввиду выявленных нами несоответствий величин индекса  $I_{уч\ ндкр}^{k\ w\%}$  контроля количества элементарных участков с непроектным покрытием не более  $w\%$  площади каждого элементарного участка нежелательной древесно-кустарниковой растительностью (где уровень наличия растительности  $w = 10, 15, 20$  или  $30\%$ ) граничным значениям указанных индексов, принимая во внимание превышение индекса  $I_{уч\ ндкр}^k$  контроля количества элементарных участков с непроектным произрастанием НДКР над допустимым значением данного индекса, а также учитывая рекомендации Методики таксационного обследования линейного инфраструктурного объекта в части Критериев оценки качества выполняемых мероприятий по удалению НДКР с территории линейных инфраструктурных объектов, качество выполненных мероприятий по удалению НДКР с территории участка полосы отвода железной дороги «Пункт 1 — Пункт 2» заслуживает оценку «неудовлетворительно».

Обследованный участок линейного инфраструктурного объекта в части произрастания на его территории нежелательной древесно-кустарниковой растительности находится в ненормативном техническом состоянии.

#### 4. Обсуждение и заключение

1. Предложенная в данном исследовании математическая модель оценки степени непроектного покрытия нежелательной древесно-кустарниковой растительностью территорий инфраструктурных объектов имеет определённые преимущества над существующими моделями. Наряду со значительным уменьшением доли субъективной составляющей в итоговом результате оценки соотношения «наличие — отсутствие»



произрастающей нежелательной растительности разработанная модель позволяет учесть как характеристики указанной растительности (не только количество её экземпляров, но и площадь непроецируемого покрытия обследуемых территорий проекциями крон растительности), так и параметры (в частности, площади) данных территорий.

2. Разработанный в данном исследовании критерий непроецируемого покрытия территорий линейных инфраструктурных объектов нежелательной древесно-кустарниковой растительностью, основанный на таксационном обследовании указанных территорий, может быть применён при организации работ по удалению указанной растительности для обоснования применения необходимой системы машин и механизмов, а также при оценке качества выполнения работ по очистке территорий инфраструктурных объектов от нежелательной растительности.

### Список литературы

1. *Сощенко А. Е.* Развитие методов и технических средств обеспечения эксплуатационной надёжности линейной части трубопроводного транспорта нефти: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.19. Уфа, 2005. 48 с.
2. *Шергунова Н. А.* Повышение надёжности воздушных линий электропередачи распределительных сетей: монография. М: Энергоатомиздат, 2006. 211 с.
3. Научно-методические основы управления надёжностью и безопасностью эксплуатации сетей связи железнодорожного транспорта: монография / В. К. Котов, В. Р. Антоненко, Г. П. Лабеев, В. В. Шмыгинский. М: УМЦ ЖДТ, 2012. 193 с.
4. *Курганов В. М., Грязнов М. В.* Обеспечение надёжности в системе управления перевозками и производством на автомобильном транспорте: монография. Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2012. 125 с.
5. *Григорьев И. В., Григорьева О. И., Чураков А. А.* Эффективные технологии и системы машин для малообъёмных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61—66.
6. *Ланидус Б. М.* Аутсорсинг как одно из приоритетных направлений в реформировании и повышении эффективности российских железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2006. № 2. С. 40—44.
7. *Павлов А.* Современные подходы в области управления растительностью вдоль воздушных ЛЭП // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № S2 (17). С. 24—29.
8. *Платонов А. А.* Исследование и систематизация существующих технологических процессов удаления нежелательной растительности // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 3 (47). С. 63—73. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-63-73.
9. Конструкции и параметры машин для расчистки лесных площадей: монография / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк, П. И. Попиков, Л. Д. Бухтояров. М.: Флинта-Наука, 2007. 208 с.
10. *Кузьмин И., Байрамов И., Виноградов С.* Содержание трасс ВЛ в нормативном состоянии. Контроль растительности // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № S2 (17). С. 2—7.
11. *Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T.* Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions // Scandinavian Journal of Forest Research. 2013. Vol. 28, no. 8. P. 758—774. DOI: 10.1080/02827581.2013.838299.

12. Ivashnev M. V., Vasiliev A. S., Shegelman I. R. Synthesis methodology of patentable technical solutions: a case of equipment for removing tree and shrubbery vegetation // *Astra Salvensis*. 2018. Vol. 6. P. 531—540.
13. Kukkonen M., Kukkonen E. Koneellinen metsänhoito. Kuopio: Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja, 2013. 69 p.
14. Miller R. H. Integrated Vegetation Management. Atlanta: International Society of Arboriculture, 2021. 108 p.
15. Rask A. M., Kristoffersen P. A review of non-chemical weed control on hard surfaces // *Weed Research*. 2007. No. 47 (5). P. 370—380. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2007.00579.x.
16. Matthies M., Beyer A. Role of vegetation on the overall persistence and long-range transport potential // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2003. Vol. 17, no. 4. P. 252—255. DOI: 10.1007/s00477-003-0141-9.
17. Ersson B. T., Platonov A., Zimarin S. V. Analysis of the information content of tenders for the removal of unwanted vegetation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Cep. «International Forestry Forum “Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions”». 2020. P. 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012022.

## References

1. Soshchenko A. E. *Development of methods and technical means to ensure the operational reliability of the linear part of the oil pipeline transport: Ph.D. dis. ... doc. tech. Sciences: 25.00.19*. Ufa, 2005. 48 p. (In Russ.)
2. Shergunova N. A. *Improving the reliability of overhead transmission lines of distribution networks: monograph*. Moscow, Energoatomizdat, 2006. 211 p. (In Russ.)
3. Kotov V. K., Antonets V. R., Labetskaya G. P., Shmytinsky V. V. *Scientific and methodological foundations for managing the reliability and safety of operation of railway communication networks: monograph*. Moscow, UMTs ZHDT, 2012. 193 p. (In Russ.)
4. Kurganov V. M., Gryaznov M. V. *Ensuring reliability in the system of transportation and production management in road transport: monograph*. Magnitogorsk, Magnitogorsk Press House, 2012. 125 p. (In Russ.)
5. Grigoriev I. V., Grigorieva O. I., Churakov A. A. Efficient technologies and systems of machines for small-volume wood harvesting. *Energy: economics, technology, ecology*, 2018, no. 2, pp. 61—66. (In Russ.)
6. Lapidus B. M. Outsourcing as one of the priority areas in reforming and improving the efficiency of Russian railways. *Railway transport*, 2006, no. 2, pp. 40—44. (In Russ.)
7. Pavlov A. Modern approaches in the field of vegetation management along overhead power lines. *Electricity. Transfer and distribution*, 2020, no. S2 (17), pp. 24—29. (In Russ.)
8. Platonov A. A. Research and systematization of existing technological processes for removing unwanted vegetation. *Systems. Methods. Technology*, 2020, no. 3 (47), pp. 63—73. doi: 10.18324/2077-5415-2020-3-63-73 (In Russ.)
9. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Popikov P. I., Bukhtoyarov L. D. *Designs and parameters of machines for clearing forest areas*. Moscow, Flinta-Nauka, 2007. 208 p. (In Russ.)
10. Kuzmin I., Bayramov I., Vinogradov S. Maintenance of overhead lines in the standard state. Vegetation control. *Electricity. Transfer and distribution*, 2020, no. S2 (17), pp. 2—7. (In Russ.)
11. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 28, no. 8, pp. 758—774. doi: 10.1080/02827581.2013.838299.

12. Ivashnev M. V., Vasiliev A. S., Shegelman I. R. Synthesis methodology of patentable technical solutions: a case of equipment for removing tree and shrubbery vegetation. *Astra Salvensis*, 2018, vol. 6, pp. 531—540.
13. Kukkonen M., Kukkonen E. *Koneellinen metsänhoito*. Kuopio: Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja, 2013. 69 p.
14. Miller R. H. *Integrated Vegetation Management*. Atlanta: International Society of Arboriculture, 2021. 108 p.
15. Rask A. M., Kristoffersen P. A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Re-search*, 2007, no. 47 (5), pp. 370—380. doi: 10.1111/j.1365-3180.2007.00579.x.
16. Matthies M., Beyer A. Role of vegetation on the overall persistence and long-range transport potential. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2003, vol. 17, no. 4, pp. 252—255. doi: 10.1007/s00477-003-0141-9.
17. Ersson B. T., Platonov A., Zimarin S. V. Analysis of the information content of tenders for the removal of unwanted vegetation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Cep. «*International Forestry Forum “Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions”*», 2020, pp. 012022. doi: 10.1088/1755-1315/595/1/012022.