

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

## **РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАМНЕПАДНЫХ И ЛАВИННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Аннотация. Предлагаются результаты проектирования системы инженерной защиты объекта от лавин и камнепадов. Приводятся некоторые методы и данные мониторинга опасных природных процессов на рассматриваемом объекте – строящемся горнолыжном курорте.

**Ключевые слова:** лавина, камнепад, инженерная защита, испытания анкеров, опасные природные процессы.

**M. B. Marinichev<sup>1</sup>, A. V. Makusheva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin», Krasnodar, Russia

## **DEVELOPMENT OF COMBINED ENGINEERING PROTECTION OF THE TERRITORY FROM THE IMPACT OF KAMNEPAD AND LAVIN PROCESSES**

Abstract. This article contains the results of the engineering protection system design from avalanches and rockfalls. There are some methods and data of dangerous natural processes monitoring on the object in question – the ski resort which is currently under construction.

**Keywords:** avalanche, rockfall, engineering protection, testing of anchors, natural hazards.

### **Введение**

На сегодняшний день одной из первостепенных задач инженеров-геотехников является защита территорий и объектов строительства от опасных природных процессов [1, 2]. В данной работе описаны основные задачи, с решением которых авторскому коллективу пришлось столкнуться в ходе разработки инженерных решений по защите объекта, расположенного в горнолыжном кластере Краснодарского края, от негативного воздействия камнепадов и лавин.

### **Объект исследования**

Рассматриваемый объект представляет собой строящийся горнолыжный курорт в Адлерском районе г. Сочи. Частью инфраструктуры объекта являются несколько горнолыжных трасс для занятия спортом, 3 канатные дороги разного типа (кресельная, гондольно-кресельная и бугельная канатные дороги) с опорами, а также различные здания и сооружения (жилые постройки, кафе, центры досуга и др.).

Объект расположен на склоне горы, часть сооружений находится в непосредственной близости к скале.

Рельеф обладает высокой энергией, крутизна склонов благоприятна развитию склоновых процессов. Имеется общая незначительная шероховатость рельефа и малая задержанность склонов на большой площади. Верхняя часть разреза у восточной окраины рассматриваемого участка представлена крупнообломочными грунтами.

### Данные комплексного мониторинга

С 2015 г. по настоящее время ведется комплексный мониторинг опасных природных процессов на рассматриваемом объекте. В программу мониторинга в разное время и в разном объеме были включены:

- мониторинг деформационных процессов (геодезический мониторинг);
- гидрогеологические наблюдения;
- наблюдения за экологической ситуацией на объекте;
- мониторинг метеорологических параметров;
- мониторинг снегового покрова и лавин;
- наблюдения за камнепадами и осыпями.

По результатам наблюдений за гравитационными процессами (лавинами, камнепадами) в 2015–2016 гг. было установлено, что существует опасность схода снежных масс (рисунок 1) на здания, объекты инфраструктуры и территории, занятые курортом. Особую опасность лавины могут представлять для людей – посетителей курорта и обслуживающего персонала.

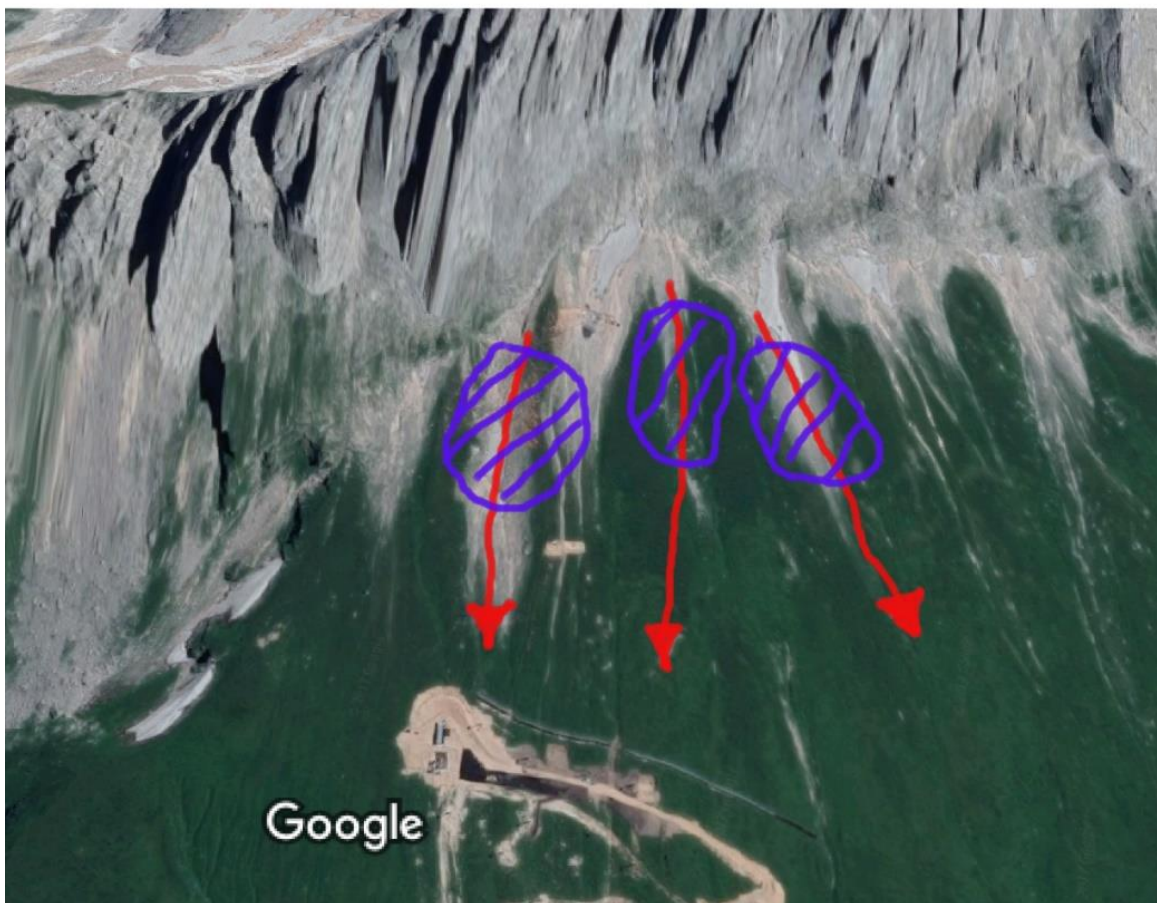


Рисунок 1 – Очаги формирования и направление схода лавин на исследуемом объекте (снимок с Google Maps), где:

— предполагаемое направление схода лавины;

⊗ – очаг формирования лавины.

Figure 1 - Foci of formation and direction of avalanches on the investigated object (a snapshot from Google Maps), where:

— the expected avalanche direction;

⊗ - focus of avalanche formation.

Наблюдения за гравитационными процессами из наиболее опасных очагов камнепада также показали необходимость защиты отдельных строений и сооружений, расположенных наиболее близко к подножью горы. Диаметр отдельных обломков достигал 320 мм. Набрав

высокую скорость, такие обломки могут нанести значительный ущерб зданиям и сооружениям на территории объекта, а также несут опасность здоровью и жизни людей.

По вышеуказанным причинам было необходимо принять оперативные меры по защите всего объекта от опасных природных процессов.

### Поиск технического решения

На сегодняшний день существует множество традиционных и современных сооружений для защиты территорий от камнепадных и снеголавинных процессов, в том числе и комбинированные решения [3]. Для решения поставленной задачи были рассмотрены следующие методы (таблица 1):

Таблица 1 – Рассмотренные технические решения для защиты территории от опасных природных процессов  
Table 1 – The considered technical solutions for protecting the territory from hazardous natural processes

№ п/п	Описание решения	Преимущества	Недостатки
1	Установка систем принудительного спуска лавин GazEX	Простота монтажа; низкая стоимость работ	Непредсказуемость поведения снежных и грунтовых масс вследствие звукового воздействия
2	Устройство защитного земляного сооружения (дамбы)	Простота монтажа	Высокая стоимость работ; невозможность использования грузоподъемной техники на склоне; массивная дамба нарушает сложившуюся экологическую ситуацию на склоне
3	Монтаж системы гибких защитных барьеров	Сооружения выполняют функцию удержания снега и защиты от камней; не нарушают сложившуюся экологическую ситуацию на склоне; легковесны, незаметны на склонах	Необходимость шеф-монтажа при установке конструкций

После анализа предложенных вариантов был сделан выбор в пользу монтажа системы гибких защитных барьеров на склонах.

### Особенности расчета и конструирования предлагаемого решения

Авторским коллективом было предложено техническое решение, представляющее собой систему инженерной защиты территорий.

Данная система состоит из 2 типов конструкций:

- линии противокампнепадных барьеров RXE-5000 (Geobrugg) высотой 5,0 м;
- линии снегоудерживающих барьеров SPIDER Avalanche (Geobrugg) высотой 4,5 м.

Принципиальная схема конструкции снегоудерживающего барьера представлена на рисунке 3.

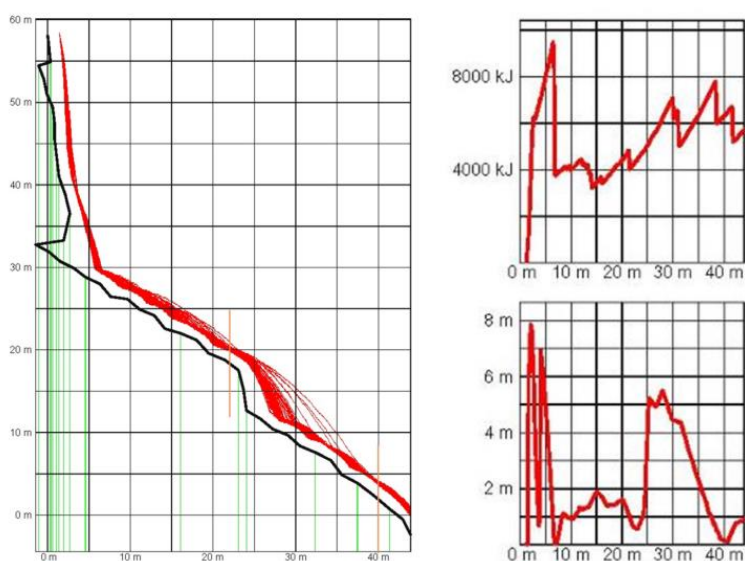


Рисунок 2 – 2-D моделирование траектории камнепада в программном комплексе RockFall  
Figure 2 – 2-D modeling of the trajectory of the rockfall in the software complex RockFall

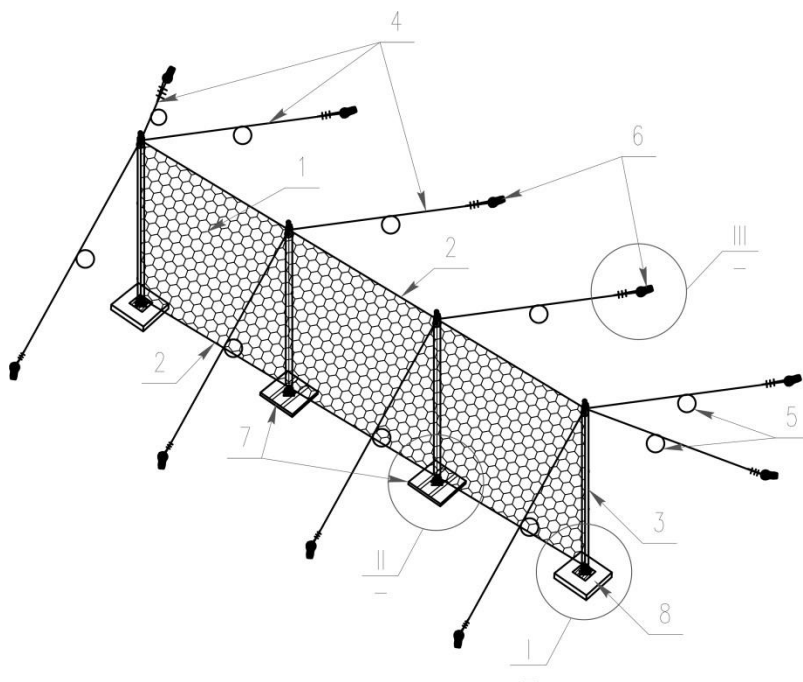


Рисунок 3 – Принципиальная схема конструкции снегоудерживающего барьера:  
1 – высокопрочная стальная сеть; 2 – несущий канат; 3 – металлическая опора; 4 – натяжные канаты (оттяжки);  
5 – амортизирующие элементы; 6 – точка анкерного крепления; 7 – металлические опорные пластины;  
8 – железобетонный фундамент крайней опоры барьера

Figure 3 – Schematic diagram of the snow-retaining barrier design, where:  
1 – high-strength steel network; 2 – supporting rope; 3 – metal support; 4 – tension ropes (pullers); 5 – cushioning elements; 6 – point of anchorage; 7 – metal support plates; 8 – reinforced concrete foundation of the extreme support of the barrier

Схема размещения и высота опор сооружений были приняты по результатам мониторинга лавин и камнепадов на объекте. Линии противокаменных барьеров призваны защитить нижележащие снегоудерживающие конструкции от попадания в них крупных осколков породы, преимущественно в бесснежное время. На заснеженном склоне барьер RXE-5000

также выполняет функцию снегоудержания. Данная система является комбинированной и комплексно защищает объект от негативного воздействия камнепадов и лавин.

### Испытания анкеров. Фундаменты сооружений

В октябре 2016 г. на объекте были выполнены пробные полевые испытания анкеров длиной 3, 6 и 9 м статической выдергивающей нагрузкой. Нагружение испытываемых анкеров происходило следующими ступенями: 20, 30, 40, 50, 60 ... 150 % от  $P_0 = 0,1P_{и}$  с «условной стабилизацией» на каждой ступени (принималось перемещение не более 0,10 мм в каждом из двух последовательных интервалов времени). Минимальное время наблюдения – 15 мин, до полного исчерпания несущей способности заделки анкера в грунте или срыва по контакту тяги с цементным камнем корня, с разгрузкой на каждой ступени до  $P_0$  согласно Измерение перемещения грунтового анкера, находящегося под выдергивающей нагрузкой, производилось с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытаний анкеров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний грунтовых анкеров  
Table 2 – Results of tests of soil anchors

№ испытаний	Размер испытан. анкера, диам., мм длина общая, м	Абсолютные отметки грунтового анкера		Макс. нагрузка при испытании, тс	Выход грунтового анкера при максимальной нагрузке, мм	Угол наклона грунтового анкера
		Фактические				
		Точка входа (устье)	Низ (острие)			
1	2	3	4	5	6	7
1	100,00 9,00	2284,621	2275,758	35	29,36	80
2	100,00 9,00	2283,743	2274,880	30	33,80	80
3	100,00 9,00	2284,221	2275,358	30	31,08	80
4	100,00 9,00	2274,387	2265,524	35	35,29	80
5	100,00 9,00	2279,93	2276,559	30	29,31	22
6	100,00 6,00	2278,974	2275,603	21	28,63	22
7	100,00 6,00	2273,996	2268,087	18	27,11	80
8	100,00 6,00	2266,505	2260,596	18	29,16	80
9	100,00 6,00	2273,172	2267,263	21	29,18	80
10	100,00 6,00	2273,45	2267,541	21	26,08	80
11	100,00 3,00	2284,221	2281,267	12	27,16	80
12	100,00 3,00	2274,387	2271,433	13,5	28,67	80
13	100,00 3,00	2272,729	2269,775	13,5	26,01	80
14	100,00 3,00	2264,69	2261,736	12	30,24	80
15	100,00 3,00	2266,895	2263,941	13,5	31,27	80

Результаты испытаний анкеров легли в основу конструирования разработанных решений по защите объекта (рисунки 4, 5).

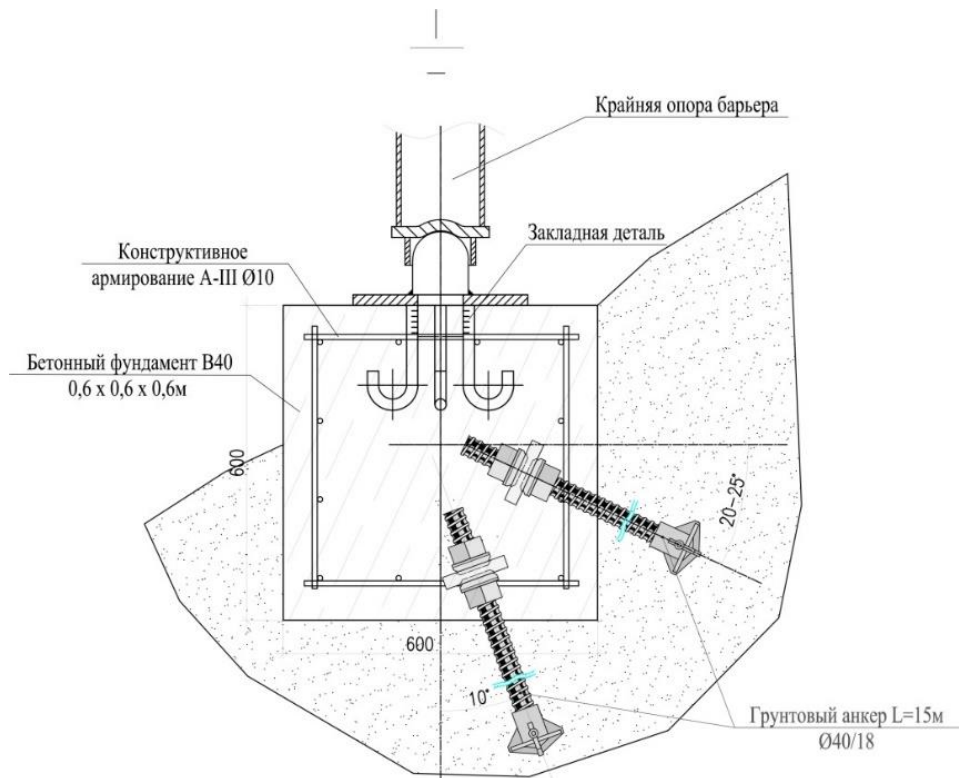


Рисунок 4 – Конструкция фундамента крайней опоры снегоудерживающего барьера  
Figure 4 – Construction of the foundation of the extreme support of the snow-retaining barrier

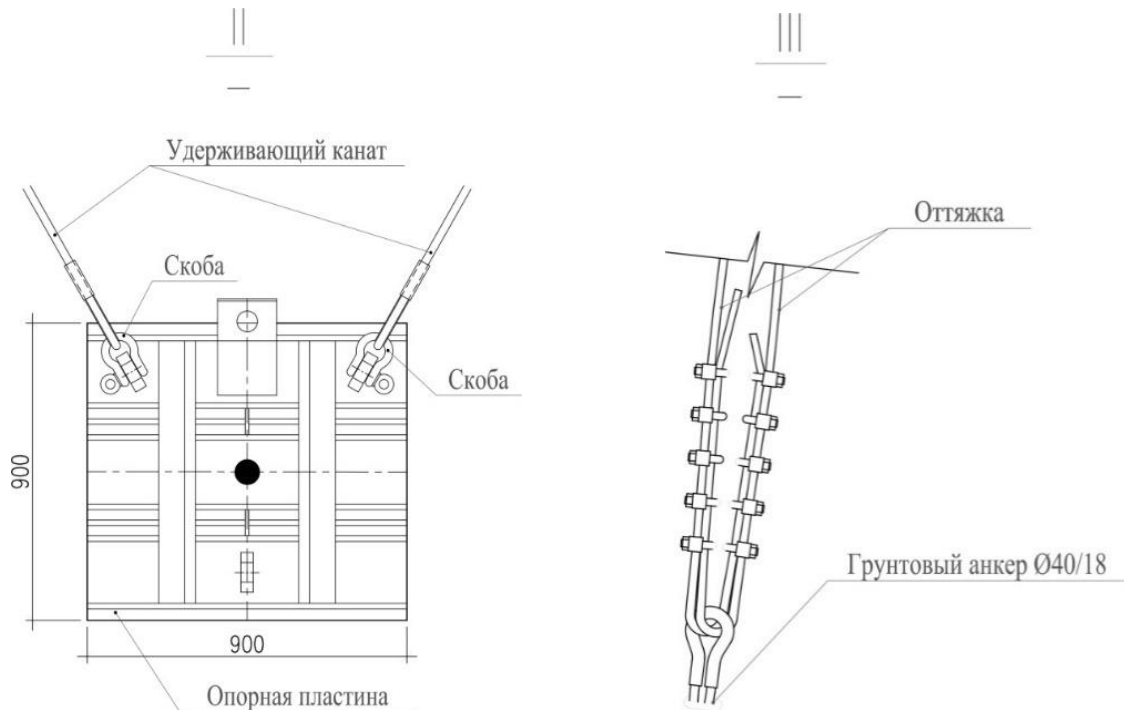


Рисунок 5 – Опорная пластина промежуточных опор барьера (слева) и узел крепления гибкого оголовка анкера и оттяжки (справа)  
Figure 5 – Support plate of intermediate barrier supports (left) and anchorage of flexible anchor and anchor head (right)

### Результаты работы

На сегодняшний день на рассматриваемом объекте ведется установка линий снегоудерживающих барьеров (рисунки 6, 7) над верхней станцией кресельной канатной дороги согласно проекту ООО «ГЕОТЭК». Монтаж защитных конструкций ведется с вертолета ввиду невозможности использования подъемной техники на данном участке.



Рисунок 6 – Монтаж снегоудерживающего барьера. Август 2017 г.  
Figure 6 – Installation of the snow-retaining barrier. August 2017

Процесс монтажа также усложняется необходимостью вести работы только в бесснежный период. По результатам мониторинга данный промежуток времени составляет лишь 3–4 месяца в году, преимущественно в летнее время.

Следующим этапом станет установка камнезащитного барьера у подножья скалы. Также продолжится установка линий снегозащиты на других участках согласно проекту.



Рисунок 6 – Линии смонтированных снегоудерживающих барьеров. Август 2017 г.  
Fig. 6 – Lines of mounted snow-retaining barriers. August 2017

### Общие выводы

Для обеспечения необходимого уровня защиты территории и инфраструктуры объекта было принято решение использовать комбинированные конструкции, одновременно выполняющие функции улавливания обломков породы, падающих со склона, и удержания снежных масс. Полевые испытания анкеров позволили подобрать оптимальную конструкцию фундаментов опор защитных барьеров. На сегодняшний день ведутся работы по монтажу линий снегоудерживающих и камнезащитных барьеров, а также продолжается мониторинг развития опасных природных процессов (камнепадов, осыпей, снежных лавин).

### Библиографический список

1. Мариничев М. Б. Особенности расчета и конструирования современных противокамнепадных сооружений / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева, А. Ю. Баринов. – М. : ГеоРиск. – 2015. – № 2. – С.32.
2. Мариничев М. Б. Расчет и конструирование сооружений инженерной защиты территорий от камнепадных процессов : учеб. пособие / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 86 с.
3. Пат. 2625834, Российская Федерация, МПК E01F 7/04. Конструкция противолавинной и противокамнепадной защиты / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» ; № 2016108329 ; заявл. 09.03.2016 ; опубл. 19.07.17, бюл. № 20.
4. ВСН 506–88. Проектирование и устройство грунтовых анкеров – М. : Минмонтажспецстрой. – 1989.

### References

1. Marinichev M. B. Osobennosti rascheta i konstruirovaniya sovremennykh protivokamnepadnykh sooruzheniy [Peculiarities of calculation and design of modern rockfall protection structures] / M. B. Marinichev, A. V. Makusheva, A. Yu. Barinov. – M. : GeoRisk. – 2015. – № 2. – S.32.
2. Marinichev M. B. Raschet i konstruirovaniye sooruzheniy inzhenernoy zashchity territoriy ot kamnepadnykh protsessov [Calculation and designing of engineering rockfall protection structures]: ucheb. posobiye. / M. B. Marinichev, A. V. Makusheva. – Krasnodar : KubGAU, 2017. – 86 s.
3. Pat. 2625834, Rossiyskaya Federatsiya, MPK E01F 7/04. Konstruktsiya protivolavinnoy i protivokamnepadnoy zashchity [The design of avalanche and rockfall protection] / M. B. Marinichev, A. V. Makusheva ; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO «Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet» ; № 2016108329 ; zayavl. 09.03.2016 ; opubl. 19.07.17, byul. № 20.
4. VSN 506–88. Proyektirovaniye i ustroystvo gruntovykh ankerov [Design and installation of ground anchors] – M. : Minmontazhspetsstroy. – 1989.