

---

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСИЛЕННОГО ФРИКЦИОННОГО АНКЕРА СО ШПУРОМ

Неугомонов С.С.<sup>1</sup>, Зубков А.А.<sup>1</sup>, Самигулин В.А.<sup>2</sup>, Кутлубаев И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация.** Актуальность работы. Объемы применения анкеров с фрикционным закреплением имеют четкую тенденцию на увеличение. В настоящее время их доля составляет 31% от общего объема используемых анкерных крепей. При этом расширение области применения и повышение эффективности обеспечивается за счет повышения несущей способности анкера –  $F_{ш}$ . Повышение достигается за счет использования более качественных сталей или изменения конструкции анкера. Первое направление сопряжено с повышением затрат на изготовление. В связи с этим приоритетным является второе направление. **Постановка задачи.** Разработанная конструкция усиленного фрикционного анкера имеет в головной части вставку из материала с модулем упругости меньше, чем у стержня анкера. Для расчета несущей способности следует сформировать аналитическую модель, учитывающую особенности внесенных изменений. **Новизна.** Силовое взаимодействие, соответствующее конструкции усиленного фрикционного анкера, представлено в виде схемы нагружения, в которой действие усиливающей вставки на изгибающий момент в стержне анкера представлено в виде распределенной нагрузки, значение которой определяется через ее модуль упругости. Принятая схема нагружения учитывает особенности совместного упругого деформирования стенки стержня анкера и вставки. **Результат.** Полученная аналитическая модель позволяет проводить исследования влияния каждого из параметров конструкции на величину нагрузочной способности стержня, установленного в шпур, –  $F_{ш}$ . **Практическая значимость.** Использование предложенной аналитической модели для расчета несущей способности фрикционных анкеров новой конструкции позволяет обоснованно назначать его параметры при разработке паспортов крепления выработок горных пород.

**Ключевые слова:** комбинированная анкерная крепь, фрикционный анкер, нагрузочная способность, схема нагружения, аналитическая модель

© Неугомонов С.С., Зубков А.А., Самигулин В.А., Кутлубаев И.М., 2024

## Для цитирования

Исследование силового взаимодействия усиленного фрикционного анкера со шпуром / Неугомонов С.С., Зубков А.А., Самигулин В.А., Кутлубаев И.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №1. С. 5-12. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-5-12>

---

# STUDY ON FORCE INTERACTION BETWEEN A REINFORCED FRICTION STABILIZER AND A BOREHOLE

Neugomonov S.S.<sup>1</sup>, Zubkov A.A.<sup>1</sup>, Samigulin V.A.<sup>2</sup>, Kutlubaev I.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC UralEnergResurs, Magnitogorsk, Russia

<sup>2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract. Relevance of the study.** The volume of using friction stabilizers shows a clear upward trend. Their current share is 31% of the total volume of roof bolts. At the same time, expanding the scope of application and increasing efficiency is ensured by increasing load-bearing capacity of the friction stabilizer  $F_b$ . The increase is achieved by using higher quality steels or changing the anchor design. The first option is associated with increased manufacturing costs. In this regard, a priority is given to the second option. **Objective.** The developed design of the reinforced friction stabilizer includes in the head part an insert made of a material, showing less elastic modulus as compared with the stabilizer rod. To calculate load-bearing capacity, an analytical model should be created to factor into the features of the changes made. **Originality.** Force interaction corresponding to the design of the reinforced friction stabilizer is presented in a loading diagram, where the effect of the reinforcing insert on bending moment in the anchor rod is presented as a distributed load, whose value is determined through its elastic modulus. The adopted loading diagram factors into the features of joint elastic deformation of the wall of the anchor rod and the insert. **Result.** The resulting analytical model allows us to study the influence of every design parameter on load-bearing capacity of the rod fixed in a borehole,  $F_b$ . **Practical Relevance.** The proposed analytical model used to calculate load-bearing capacity of friction stabilizers of a new design provides us with a rationale for assigning its parameters when developing passports for supporting mine openings.

**Keywords:** combined anchor support, friction stabilizer, load-bearing capacity, loading diagram, analytical model

## For citation

Neugomonov S.S., Zubkov A.A., Samigulin V.A., Kutlubaev I.M. Study on Force Interaction between a Reinforced Friction Stabilizer and a Borehole. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 1, pp. 5-12. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-5-12>

## Введение

Технологичность и эффективность применения анкерной крепи существенно увеличилась с переходом на использование анкера в сочетании с армокаркасом – комбинированную анкерную крепь [1-3]. Это позволяет исключить в ряде случаев из технологии установку сетки и полосовых подхватов. При этом применительно к анкерам с фрикционным закреплением обеспечивается совмещение установки анкера и армокаркаса.

Функциональность комбинированной анкерной крепи определяется совокупной работоспособностью ее составляющих – армокаркаса и анкерной крепи.

Армокаркас представляет собой металлическую решетку из переплетенных стержней, выполненных из арматурного профиля и сваренных в точках пересечения [4]. Выполненные исследования показали, что наиболее предпочтительным является армокаркас размерами 950×950 мм при установке одним анкером. Ряд недропользователей используют армокаркасы размером 950×1900 мм и фиксацией двумя анкерами. Выбор размеров армокаркасов обусловлен наиболее предпочтительным шагом анкерования в 1000 мм. Многолетний опыт применения показал, что наиболее прочной является конструкция с непрерывным чере-

дованием положения смежных стержней. Иные варианты, например с односторонним расположением стержней в центральной зоне, обладают меньшей нагрузочной способностью. Это обусловлено тем, что размеры опорной плиты не обеспечивают перекрытие всех точек пересечения стержней в центральной зоне, что ведет к двукратному увеличению расстояния между опорными точками.

Снижение нагрузочной способности и полная потеря функциональности армокаркаса имеет место при отсутствии сварки во всех точках контакта продольных и поперечных стержней (ПМ РФ №223992 «Арматурная сетка для анкерной крепи», опубл. 12.03.2024). Результаты испытаний, проведенных для двух вариантов выполнения армокаркасов с совпадающими параметрами, представлены на **рис. 1** и **2**. Проводились исследования по три образца без сварки в точках пересечения стержней в центральной зоне и со сваркой во всех точках пересечения. Регистрировался ход поршня до 200 мм и создаваемая при этом нагрузка (см. **рис. 2**). Минимальная деформация, обеспечивающая вывод всего армокаркаса в одну плоскость, составляет 125 мм. Для адаптации к профилю вогнутой поверхности необходимая деформация возрастает до 200 мм.

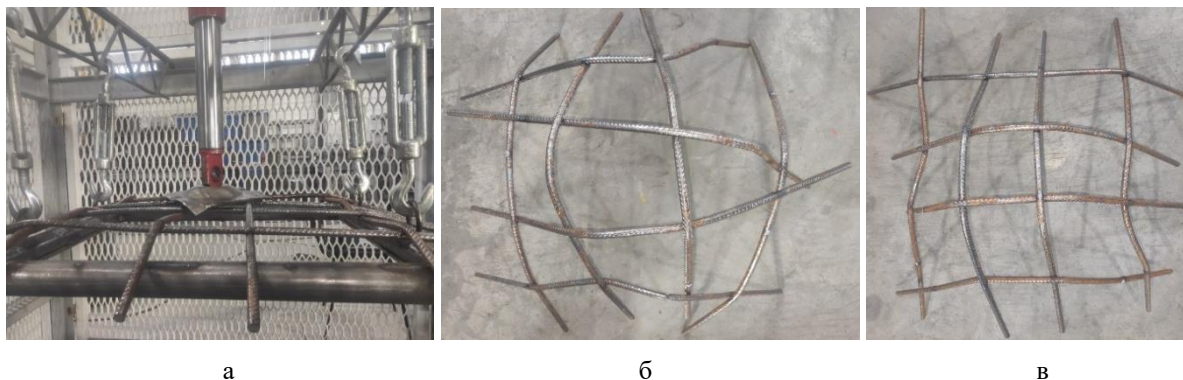


Рис. 1. Испытание армокаркасов: а – общий вид стенда; б – вид армокаркаса без сварки в точках пересечения в центральной зоне; в – вид армокаркаса со сваркой во всех точках пересечения  
 Fig. 1. Testing of reinforced frames: a is a general view of the stand; б is the reinforced frame without welding at the intersection points in the central zone; в is the reinforced frame with welding at all intersection points

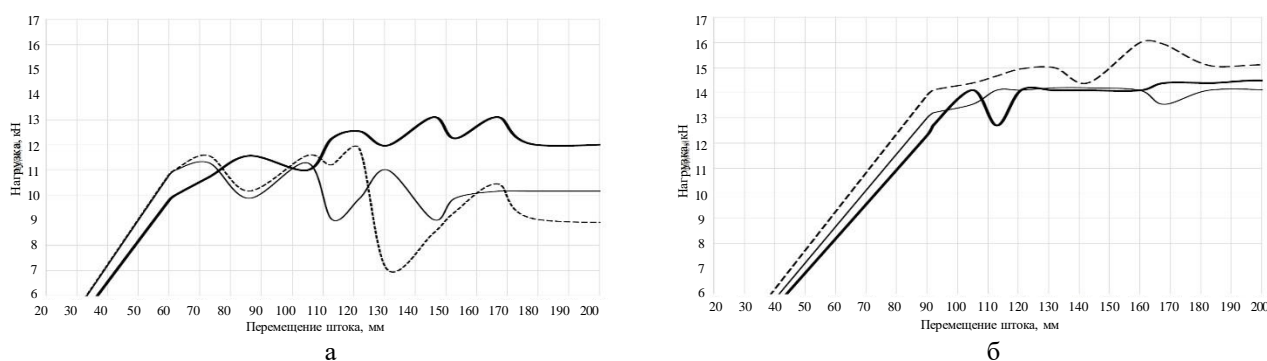


Рис. 2. Результаты испытаний трех образцов армокаркасов при деформации до 200 мм:  
 а – без сварки в центральных точках пересечения; б – со сваркой во всех точках пересечения  
 Fig. 2. Tests of three samples of armored frames under a deformation of up to 200 mm: a is without welding at the central intersection points; б is welding at all intersection points

Во всех испытанных образцах с неполной сваркой разрушение произошло в четырех сваренных соединениях последовательно при деформации 70-90, 100-120, 130-150, 160-175 мм (рис. 2, а). Центральный квадрат, образованный продольными и поперечными стержнями, деформировался с увеличением размера с исходных 120 до 165-210 мм.

В образцах со сваркой во всех точках разрушение происходило в одном соединении при деформации в 110-120 мм – в первом образце, 130-150 мм – во втором образце, 160-170 – в третьем образце (рис. 2, б). Исходные размеры центрального квадрата при этом не изменялись.

Результаты эксперимента показали недопустимость при изготовлении армокаркасов «экономии на сварке» соединений стержней, предлагаемой некоторыми производителями.

Основной характеристикой анкерной крепи, определенной ГОСТ 31559 – 2012 (Изменения №1, 2), является несущая способность  $F_{ш}$ . Для анкера с фрикционным закреплением значение  $F_{ш}$  установлено не менее 50 кН в скальных породах с пределом прочности на одноосное сжатие 40 МПа. На практике повышение значения несущей способности  $F_{ш}$  более

50 кН, определенной ГОСТ 31559 – 2012 позволяет увеличить сетку штангования.

Эксплуатационное значение несущей способности  $F_{ш}$  соответствует минимальной величине из трех нагрузочных способностей: упора на стержне анкера, опорной плиты, стержня анкера [5]. Возможности повышения первых двух составляющих определены на сегодня в достаточной степени. Дополнительная опора, формируемая при установке анкера в шпур из концевой части [6], обеспечивает повышение нагрузочной способности упора, выполненного в виде приварного кольца, на 20-25%. Переход на конструкцию, в которой упор формируется из материала анкера [7], обеспечивает значения, близкие к допустимым нагрузкам стержня анкера на растяжение. По результатам испытаний установлено, что такой упор на стержне из стали Ст3, с толщиной стенки 2,5 мм и диаметром 48 мм имеет нагрузочную способность упора 109 кН. При этом допустимая растягивающая нагрузка на стержень не превышает 125 кН. Дополнительное увеличение нагрузочной способности упора может быть получено за счет введения в полость стержня, в зону сформированного упора, усиливающих элементов. Однако в этом случае повышаются затраты на изготовление и усложняется процесс установки анкера в шпур.

Нагрузочная способность опорной плиты с полу-сферическим куполом и минимальной регламентированной стандартом толщиной в 4 мм близка к нагрузочной способности упора и составляет 108 кН.

### Особенности силового взаимодействия усиленного фрикционного анкера и шпура

Наиболее сложным является повышение несущей способности стержня анкера, установленного в шпур, —  $F_{ш}$ . Ее величина определяется силой трения на поверхности сопряжения стержень-шпур. Аналитический расчет  $F_{ш}$  применительно к общепринятой конструкции стержня представлен в работе [8]. Установлено, в частности, что определяющим фактором является предел текучести материала стержня  $\sigma_T$ , линейно влияющий на величину  $F_{ш}$ . Австралийскими специалистами данная зависимость была определена экспериментально. По результатам исследований ими рекомендуется применять стали с пределом текучести 350-400 МПа [9]. Данный подход сопряжен с переходом на легированные марки стали и ведет к увеличению стоимости анкера.

Анализ деформированного состояния стержня анкера, выполненный на макете шпура, выявил особенности взаимодействия стенок анкера и шпура (рис. 3) [8]. Сопряжение поверхностей происходит на части профиля меньше 50%. Зона без контакта определяется углом  $\beta$  и составляет 110-120°. При этом в точках  $C, C_1, B, B_1$  имеет место сосредоточенное действие нагрузок соответственно  $R_C, R_{C1}, R_B, R_{B1}$ , а распределенная нагрузка  $q^*$  действует только на участке  $BB_1$ .

Увеличение силы трения возможно за счет увеличения зоны сопряжения стенок анкера и шпура. Принципиальное изменение схемы нагружения стержня анкера обеспечивается в новом техническом решении [10]. В переднюю часть стержня анкера с цилиндрическим поперечным сечением устанавливается вставка из материала, имеющего модуль упругости  $E_B$  меньше модуля упругости стали (рис. 4, а). При установке в шпур вставка деформируется в радиальном направлении (рис. 4, б), и на всей внутренней поверхности стержня создается распределенное давление  $q$  (рис. 4, в).

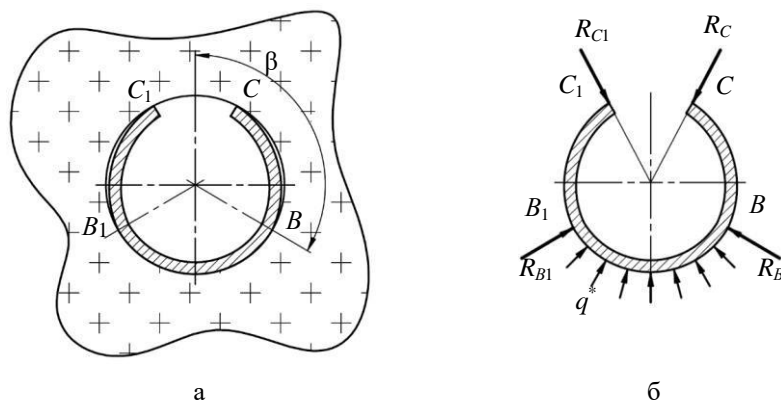


Рис. 3. Поперечное сечение стержня, установленного в шпур (а) и схема нагружения (б)  
Fig. 3. Cross section of a rod installed in the borehole (a) and a loading diagram (б)

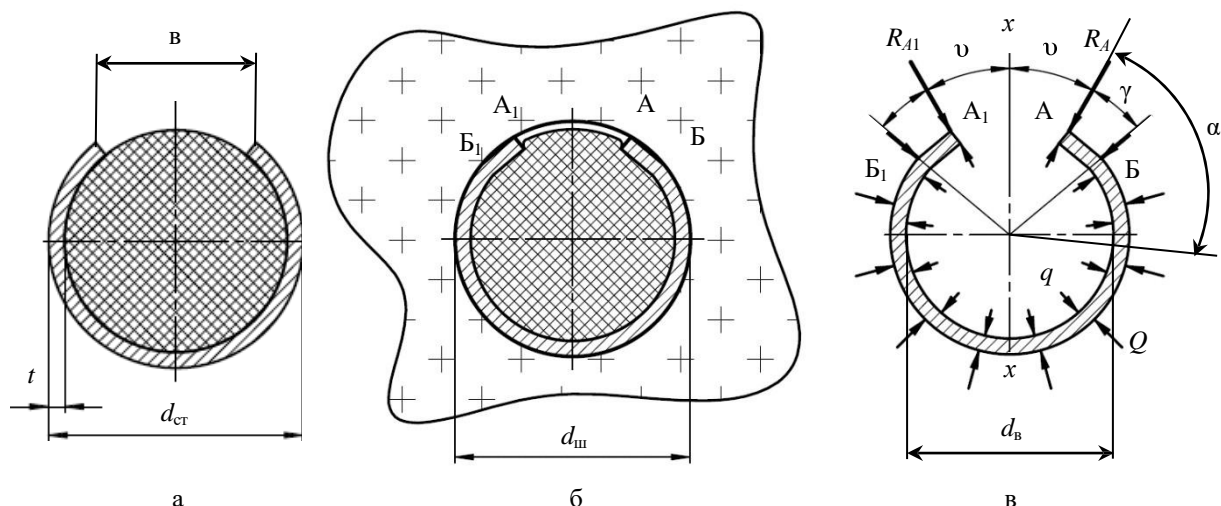


Рис. 4. Поперечное сечение, выполненное в передней части стержня: а – сечение стержня анкера до установки в шпур; б – сечение после установки в шпур; в – схема нагружения стержня анкера

Fig. 4. Cross section in the head part of the rod: а is a cross section of the anchor rod before installation in the borehole; б is after installation in the borehole; в is a loading diagram of the anchor rod

### Аналитическая модель силового взаимодействия усиленный анкер-шпур

Для анализа влияния каждого из параметров стержня анкера и вставки следует иметь аналитическую модель, связывающую их с несущей способностью  $F_{ш}$ . При ее формировании были приняты следующие допущения:

- материал вставки обладает свойством изотропии в радиальном направлении;
- шпур не деформируется и не разрушается;
- стенки стержня деформируются упруго;
- на участке сопряжения от Б до Б<sub>1</sub> (см. **рис. 4, в**) внешний диаметр стержня равен диаметру шпура;
- нагружение относительно оси  $x - x$  симметрично.

Рассматривается только часть стержня анкера, в пределах которой установлена вставка. В связи с тем, что взаимодействие стержня и шпура по длине неизменно, в дальнейшем исследуется часть стержня протяженностью  $l = 1$  мм.

Принятая схема нагружения представлена на **рис. 4, в**. В точках А и А<sub>1</sub> действуют сосредоточенные силы  $R_A$  и  $R_{A1}$ . На поверхности стержня распределены нагрузки: на внешней поверхности от точки Б до Б<sub>1</sub> –  $Q$ , Н/мм<sup>2</sup>, на внутренней по всему периметру –  $q$ , Н/мм<sup>2</sup>.

Исходными параметрами для расчета принимаются;

- $d_{ш}$  – диаметр шпура мм;
- $d_{ст}$  – внешний диаметр стержня, мм;
- $E_{вс}$  – модуль упругости материала вставки, Н/мм<sup>2</sup>;
- $H_{вс}$  – длина вставки вдоль оси стержня, мм;
- $t$  – толщина стенки стержня, мм;
- $d_{вс}$  – диаметр вставки, мм.

Нагрузочная способность стержня анкера определяется выражением

$$F_{ш} = (Q \cdot l_{п} + 2 R_A) \cdot H_{вс} \cdot f_{тр}, \quad (1)$$

где  $l_{п}$  – длина линии сопряжения стержня и шпура от Б до Б<sub>1</sub>, мм;  $f_{тр}$  – коэффициент трения покоя анкер-шпур.

Схема нагружения характеризуется неизвестными:  $q$ ,  $Q$ ,  $R_A$ .

Распределенная нагрузка  $q$  определяется из условия упругой деформации вставки [11].

Опуская промежуточные преобразования, можно записать

$$q = \frac{E_{вс} [d_{вс} - (d_{ш} - 2t)]}{d_{вс}}. \quad (2)$$

На участке ББ<sub>1</sub> имеет место постоянная кривизна, что возможно только при постоянной величине изгибающего момента:

$$M_{ББ_1} = E \cdot J_{xx} \cdot \rho', \quad (3)$$

где  $E$  – модуль упругости стержня анкера, Н/мм<sup>2</sup>;  $J_{xx}$  – момент инерции поперечного сечения части стержня, мм<sup>2</sup>,

$$J_{xx} = \frac{l \cdot t^3}{12}; \quad (4)$$

$\rho'$  – изменение кривизны на участке ББ<sub>1</sub>,

$$\rho' = \frac{2 (d_{ст} - d_{ш})}{d_{ст} - d_{ш}}. \quad (5)$$

Зависимость (3) применима, если напряжения, возникающие в стенке стержня, не превышают предела текучести  $\sigma_T$ , Н/мм<sup>2</sup>. В противном случае момент следует рассчитывать по формуле

$$M_{ББ_1}^I = \sigma_T \cdot W_{xx}, \quad (6)$$

где  $W_{xx}$  – момент сопротивления сечения изгибу, мм<sup>3</sup>,

$$W_{xx} = \frac{l \cdot t^2}{6}. \quad (7)$$

В произвольном сечении на участке ББ<sub>1</sub>, положение которого фиксируется углом  $\alpha$ , момент определяется выражением

$$M_{ББ_1} = 0,5R_A \cdot d_{ш} \cdot \sin\alpha + 0,125Q \cdot d_{ш}^2 \cdot \sin^2(\alpha - \gamma) + 0,125Q \cdot d_{ш}^2 [1 - \cos(\alpha - \gamma)]^2 - 0,125q \cdot d_{вс}^2 \cdot \sin^2\alpha - 0,125q \cdot d_{вс}^2 \cdot (1 - \cos\alpha)^2. \quad (8)$$

Преобразовав выражение (8), выделив из него сомножители, содержащие угол  $\alpha$ , имеем

$$M_{ББ_1} = \sin\alpha (0,5R_A \cdot d_{ш} - 0,25Q \cdot d_{ш}^2 \cdot \sin\gamma + 0,25q \cdot d_{вс}^2 \cdot \sin\gamma) - \cos\alpha (0,25Q \cdot d_{ш}^2 \cdot \cos\gamma - 0,5q \cdot d_{вс}^2 \cdot \cos\gamma) + (0,25Q \cdot d_{ш}^2 - 0,25q \cdot d_{вс}^2). \quad (9)$$

Значение момента  $M_{ББ_1}$  будет постоянным, если первое и второе слагаемые равны нулю:

$$R_A \cdot d_{ш} - 0,5Q \cdot d_{ш}^2 \cdot \sin\gamma + 0,5q \cdot d_{вс}^2 \cdot \sin\gamma = 0; \quad (10)$$

$$0,5Q \cdot d_{ш}^2 \cdot \cos\gamma - q \cdot d_{вс}^2 \cdot \cos\gamma = 0. \quad (11)$$

При этом из третьего слагаемого, равного постоянному моменту  $M_{ББ_1}$  (или  $M_{ББ_1}^I$ ), может быть определена величина  $Q$ :

$$Q = \frac{4M_{ББ_1} + q \cdot d_{вс}^2}{d_{ш}^2}. \quad (12)$$

Уравнение (10) содержит две неизвестные величины –  $\gamma$ ,  $R_A$ . Силы  $R_A$  и  $R_{A1}$  могут действовать как сосредоточенные только в очень крепких породах, с

коэффициентом крепости 15 и более. В менее крепких породах силы будут действовать в пределах некоторых площадок в виде распределенной нагрузки.

Протяженность единичной площадки, выраженная через угол  $\tau$  (рис. 5, а), будет определяться прочностью породы на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$ , Н/мм<sup>2</sup>:

$$\frac{R_A}{l \cdot (\tau \cdot 0,5d_{ш})} \leq \sigma_{сж} \quad (13)$$

Исходя из этого положения, можно записать

$$R_A = \sigma_{сж} \cdot l \cdot (\tau \cdot 0,5d_{ш}) \quad (14)$$

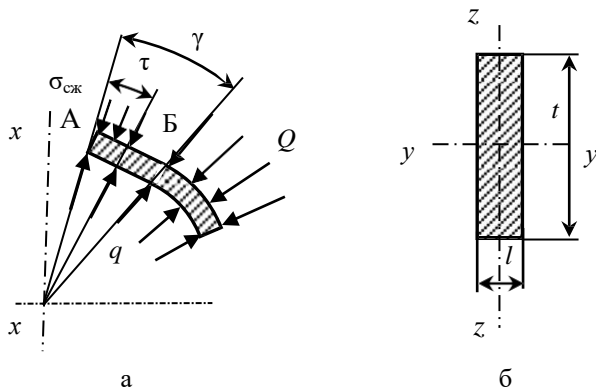


Рис. 5. К анализу нагружения участка АБ: а – схема нагружения; б – параметры поперечного сечения участка единичной длины  $l = 1$  мм

Fig. 5. To analyze loading of the AB section: а is a loading diagram; б is cross-sectional parameters of a section of unit length  $l = 1$  мм

При этом угол сопряжения  $\tau$  не может превышать угол  $\gamma$  (см. рис. 5, а).

Изгибающий момент, выраженный через нагрузки, действующие «слева» от сечения, проходящего через точку Б, имеет вид

$$M_{ББ_1} = \sigma_{сж} \cdot l \cdot (\tau \cdot 0,5d_{ш}) \cdot [0,5d_{ш} \cdot \sin(\gamma - 0,5\tau)] - (0,5d_{вс} \cdot \gamma \cdot q) \cdot (0,5d_{вс} \sin \gamma / 2) \quad (15)$$

Неизвестные углы  $\tau$  и  $\gamma$  определяются из совместного решения уравнений (10) и (15) после соответствующих подстановок.

Угол  $\nu$  определяется в последнюю очередь путем несложных вычислений по исходным данным и найденным значениям углов.

#### Экспериментальные исследования

Для подтверждения подхода, использованного в аналитических выкладках, были проведены исследования несущей способности анкеров, установленных в шпурь диаметром 43 мм, выполненные в мраморном блоке (рис. 6, а).

При исследовании использовались укороченные анкеры общей длиной 500 мм (рис. 6, б). Выбор длины обусловлен тем, что при установке длинных анкер

ров ручным инструментом имеет место частичное разрушение шпура. В шпурь, расположенные в непосредственной близости, устанавливались анкеры без вставок и с деревянной вставкой, выполненной из сосны, длиной 200 мм и диаметром 38 мм. Использовались анкеры из Ст20, внешним диаметром 48 мм, толщиной стенки 3 мм. Нагружение анкеров производилось через специальное переходное устройство – штанговывергивателем ПКА – 3 [12].

Результаты исследований представлены в таблице.



а



б



в

Рис. 6. Экспериментальные исследования: а – общий вид блока; б – анкеры до установки в шпурь; в – анкеры после изъятия из шпура

Fig. 6. Experimental studies: а is a general view; б is stabilizers before installation in the borehole; в is stabilizers after removal from the borehole

Замеры диаметров стержней анкера со вставкой, извлечённых из шпура, показали, что максимальная разница диаметров в перпендикулярных направлениях составляет не более 0,4 мм.

Зазоров между вставкой и внутренней поверхностью стержня в зоне паза не зафиксировано.

Таблица. Результаты экспериментальных исследований  
Table. Experimental studies

Анкер	Диаметр стержня, мм		Несущая способность, Н
	перед установкой	после извлечения из шпура	
Без вставки	47,9	42,9-43,3	31000
Без вставки	48,1	43,0-43,5	32000
Без вставки	48,3	42,8-43,4	31000
Со вставкой	48,0	44,1-44,4	54000
Со вставкой	48,2	44,2-44,6	55000
Со вставкой	48,1	44,4-44,6	53000

Изменение несущей способности (см. таблицу) говорит о том, что установка вставки длиной 200 мм обеспечивает приращение ее значения в среднем 26700 Н.

#### Аналитический расчет несущей способности усиленного фрикционного анкера

Расчет выполнялся по параметрам стержня, соответствующим проведенному физическому эксперименту. При определении углов использовалось значение  $\sigma_{сж}$ , равное 75 МПа. При совместном решении уравнений (10) и (15) получены значения углов:  $\tau = 5,3^\circ$ ,  $\gamma = 7,2^\circ$ . Модуль упругости дерева зависит от совокупности факторов. Для расчетов принято значение 350 МПа. Коэффициент трения сталь-мрамор равен 0,25.

При расчете принятых параметров получено  $Q = 7,73 \text{ Н/мм}^2$ ,  $F_{ш} = 45932 \text{ Н}$ .

Расхождение расчетной величины  $F_{ш}$  с экспериментальными значениями составляет 38%. Это обусловлено тем, что в расчетах использовались справочные значения  $f_{тр}$ ,  $\sigma_{сж}$ ,  $E_{вс}$ . Для более точного определения значения  $F_{ш}$  следует использовать параметры, полученные экспериментально. Получение такой информации на данном этапе достаточно затратно. Исследование следует выполнять на этапах опытно-промышленных испытаний при обосновании технологии крепления конкретных выработок. Следует отметить, что перечисленные параметры влияют на величину  $F_{ш}$  линейно, а следовательно, предложенная аналитическая модель позволяет качественно оценивать степень влияния параметров собственно усиленного фрикционного анкера на несущую способность.

#### Заключение

В работе предложена и экспериментально подтверждена схема взаимодействия усиленного фрикционного анкера и стенок шпура. Установлено:

1. При изготовлении армокаркаса обязательно выполнение сварки во всех точках пересечения стержней.
2. Существенное повышение несущей способности анкера обеспечивается за счет установки в передней части вставки из материала с модулем упругости

меньше, чем у стали.

3. Аналитическая модель расчета несущей способности анкера, полученная на основании инженерного подхода, позволяет оценивать влияние каждого из параметров конструкции усиленного фрикционного анкера на его несущую способность.

#### Список источников

1. Еременко В.А., Разумов Е.А., Заятдинов Д.Ф. Современные технологии анкерного крепления // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №12. С. 38-45.
2. Крепление горных выработок в условиях, деформируемых и удароопасных массивов горных пород / Лушников В.Н., Еременко В.А., Сэнди М.П., Бухер Р. // Горный журнал. 2014. №4. С. 37-44.
3. Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением / Зубков А.А., Зубков А.В., Кутлубаев И.М., Латкин В.В. // Горный журнал. 2016. №5. С. 48-52.
4. Пат. 158226 РФ. Секция анкерной крепи / Зубков А.А., Зубков А.Е., Мухамедъярова М.С.; заявл. 06.05.2015, опубл. 27.12.2015. Бюл. №36.
5. Обоснование характеристик анкерных крепей фрикционного типа / Зубков А.А., Калмыков В.Н., Кутлубаев И.М., Найденова М.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №10. С. 35-43.
6. Пат. 95029 РФ. Анкерная крепь / Зубков А.А., Зубков А.Е.; заявл. 25.06.2009, опубл. 25.06.2009. Бюл. №16.
7. Пат. 201514 РФ. Фрикционный анкер / Зубков А.А., Кутлубаев И.М.; заявл. 21.07.2020, опубл. 18.12.2020. Бюл. №35.
8. Zubkov A.A., Kutlubayev I.M., Muhamedjarova M. S. Calculation of Load-bearing Capacity of Tubula Anchor of Friction Type // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022052
9. Evans D.W. Friction bolt assembly. AU 2016369657 B2, Application Date 09.12.2016/
10. Пат. 220177 РФ. Анкер с фрикционным закреплением / Зубков А.А., Зубков А.А., Неугомонов С.С.,

Ибрагимова Г.Р., Сахаров Е.М.; заявл. 30.08.2023, опубл. 30.08.2023. Бюл. №25.

11. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов. 8-е изд., стер. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 560 с.
12. Способ и устройство определения несущей способности фрикционных анкеров / Неугомонов С.С., Зубков А.А., Кутлубаев И.М., Кульсайтов Р.В. // Горная Промышленность. 2023. №5. С. 83-87.

### References

1. Eremenko V.A., Razumov E.A., Zayatdinov D.F. Modern bolting technologies. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2012;(12):38-45. (In Russ.)
2. Lushnikov V.N., Eremenko V.A., Sandy M., Bucher R. Supporting mine openings in deformable and rock-bump hazardous rock massifs. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2014;(4):37-44. (In Russ.)
3. Zubkov A.A., Zubkov A.V., Kutlubaeв I.M., Latkin V.V. Improving the design and technology of installation of supports with friction stabilizers. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2016;(5):48-52. (In Russ.)
4. Zubkov A.A., Zubkov A.E., Mukhamedyarova M.S. *Sektsiya ankernoi krepі* [Roof bolting section]. Patent RU, no. 158226, 2015.
5. Zubkov A.A., Kalmykov V.N., Kutlubaeв I.M., Naidenova M.S. Providing a rationale for characteristics of friction-type anchor supports. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2019;(10):35-43. (In Russ.)
6. Zubkov A.A., Zubkov A.E. *Ankernaya krep* [Roof bolting]. Patent RU, no. 95029, 2009.
7. Zubkov A.A., Kutlubaeв I.M. *Friktsionnyi anker* [Friction stabilizer]. Patent RU, no. 201514, 2020.
8. Zubkov A.A., Kutlubaeв I.M., Muhamedjarova M.S. Calculation of load-bearing capacity of tubula anchor of friction type. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019, vol. 272, no. 2. Article ID 022052.
9. Evans D.W. Friction bolt assembly. AU 2016369657 B2, 2016.
10. Zubkov A.A., Zubkov Ar.A., Neugomonov S.S., Ibragimova G.R., Sakharov E.M. *Anker s friktsionnym zakreplenіem* [Friction stabilizer]. Patent RU, no. 220177, 2023.
11. Feodosev V.I. *Soprotivlenie materialov: uchebnik dlya vuzov* [Strength of materials: university textbook]. Moscow: Nauka. Chief Editorial Board of Literature on Physics and Mathematics, 1979, 560 p. (In Russ.)
12. Neugomonov S.S., Zubkov A.A., Kutlubaeв I.M., Kulsaitov R.V. Method and equipment for determining the load bearing capacity of friction bolts. *Gornaya promyshlennost* [Russian Mining Industry]. 2023;(5):83-87. (In Russ.)

Поступила 31.10.2023; принята к публикации 21.12.2023; опубликована 28.03.2024  
Submitted 31/10/2023; revised 21/12/2023; published 28/03/2024

**Неугомонов Сергей Сергеевич** – кандидат технических наук, технический директор, ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия.

**Зубков Антон Анатольевич** – доктор технических наук, генеральный директор, ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия.

**Самигулин Вадим Айратович** – аспирант, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

**Кутлубаев Ильдар Мухаметович** – доктор технических наук, профессор, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: ptmr74@mail.ru. ORCID 0000-0002-1761-4258

**Sergey S. Neugomonov** – PhD (Eng.), Technical Director, LLC UralEnergоResurs, Magnitogorsk, Russia.

**Anton A. Zubkov** – DrSc (Eng.), General Director, LLC UralEnergоResurs, Magnitogorsk, Russia.

**Vadim A. Samigulin** – postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Ildar M. Kutlubaeв** – DrSc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: ptmr74@mail.ru. ORCID 0000-0002-1761-4258