

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ ДЛЯ АРМИРУЮЩЕЙ ЗАКОНТУРНОЙ КРЕПИ ФЕРМЕННОГО ТИПА

*В.В. Аксенов***, д.т.н., Ю.Ф. Глазков***, к.т.н., доцент, А.А. Казанцев***, к.т.н.*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51) 605-37

***Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук*

650065, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т. Ленинградский, 10, тел. (3842) 741-608

****Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева*

650000, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842) 396-960

E-mail: 55vva42@mail.ru, glazkow-yf@rambler.ru, kazantsev@tpu.ru,

В наших предшествующих работах [1-3] было упомянуто, что наша исследовательская группа ведет работу над созданием горнопроходческой машины нового класса – геоход и созданию новой технологии проведения горных выработок – геоходной технологии.

Одной из важных проблем в создании новой технологии является разработка конструкции крепи (АЗК), адаптированной для установки в законтурные каналы и создание технологии возведения крепи проводимой горной выработки [5]. В них должны быть использованы новые возможности увеличения несущей способности, основанные на максимальном использовании винтовых и продольных каналов за контуром выработки, образуемых при ее проведении с помощью геоходов [4].

Анализ зарубежной литературы [7, 8] показал, что для возведения обделки тоннеля посредством торкретирования при щитовой технологии проведения горных выработок в последнее время широко применяются различные конструкции крепи фермового типа. На основе имеющихся данных была разработана конструкция секционной винтовой крепи фермового типа. Основная идея конструкции крепи заключается в том, что она состоит из стандартных типовых элементов на долю дуги полной окружности по периметру контура выработки (Рис. 1). Для объекта исследования взята четверть окружности и в этом случае один виток крепи состоит из четырех одинаковых фермовых элементов.

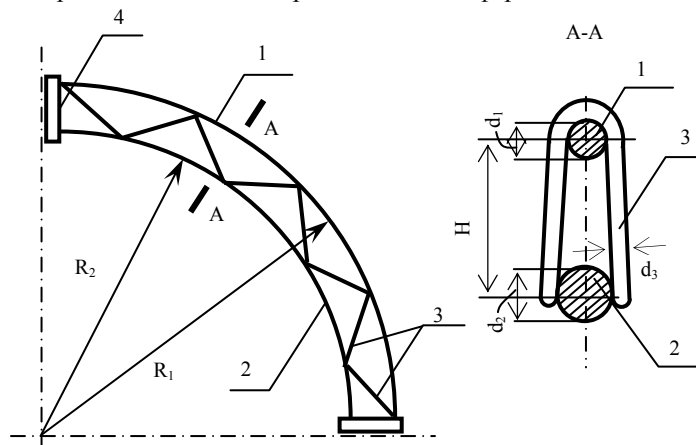


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема секции крепи:

1 – внешний пояс (outer bar); 2 – внутренний пояс (inner bar); 3 – раскосы (stiffeners); 4 – узел соединения секций (connector)

В процессе проходки крепление производится путем непрерывного наращивания крепи с помощью присоединения новых секций. Продольные каналы используются для установки в них продольных связевых элементов. Целью данной статьи является описание конечно-элементной модели типового фрагмента крепи и некоторых результатов анализа особенностей его поведения под воздействием вертикальной равномерно распределенной нагрузки (рис. 2).

Моделирование производилось в среде пакета программ ANSYS Mechanical v14.5.

В качестве конечного элемента использовался тип BEAM188 с квадратичной функцией формы и двумя узлами. Внешний и внутренний пояса (см. рис. 1) разбивались на панели, как расстояния между смежными узлами. Стержень пояса в пределах каждой панели или раскоса моделировался одним конечным элементом. Принятая густота сетки проверялась путем сравнения результатов рас-

чета сплошного плоского кольца на расчетную нагрузку в соответствии с рис. 2, с результатами аналитического решения этой же задачи в соответствии с [9]. Сравнение показало, что при 40 конечных элементах расхождение в результатах конечноэлементного и аналитического расчетов не превышает 3÷5 процентов. В дальнейшем каждый пояс моделировался не менее чем 40 конечными элементами. В качестве примера на рис. 3 приведен пример сетки с такими параметрами.

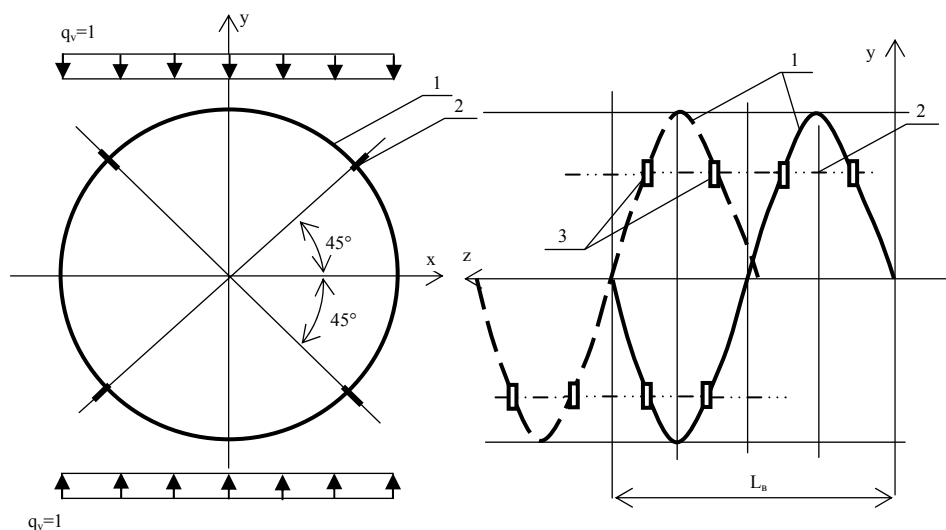


Рис. 2. Расчетная схема фрагмента крепи:

1 – секции крепи; 2 – продольные связевые секции; 3 – узлы соединения секций крепи и связей

В качестве конечного элемента использовался тип BEAM188 с квадратичной функцией формы и двумя узлами. Внешний и внутренний пояса (см. рис. 1) разбивались на панели, как расстояния между смежными узлами. Стержень пояса в пределах каждой панели или раскоса моделировался одним конечным элементом. Принятая густота сетки проверялась путем сравнения результатов расчета сплошного плоского кольца на расчетную нагрузку в соответствии с рис. 2, с результатами аналитического решения этой же задачи в соответствии с [8]. Сравнение показало, что при 40 конечных элементах расхождение в результатах конечноэлементного и аналитического расчетов не превышает 3÷5 процентов. В дальнейшем каждый пояс моделировался не менее чем 40 конечными элементами. Для упрощения техники моделирования сетки конечных элементов узлы соединения (детали 3 на рис. 2) подробно не рассматривались и учитывались только при задании кинематических связей.

Связи, ограничивающие перемещения, накладывались на основании свойств симметрии. Расчетная схема фрагмента крепи содержащего любое целое количество витков обладает тремя свойствами симметрии.

Во первых, задача симметрична относительно глобальной координатной плоскости xOz . В узлах сетки лежащих в этой плоскости перемещения вдоль оси y невозможны ($UY=0$).

Во вторых, аналогична симметрия относительно плоскости yOz где $UX=0$.

В третьих, при рассмотрении любого фрагмента крепи с целым числом витков, у которого начало и конец лежат в плоскости симметрии, из предположения бесконечности крепи на концах фрагмента будет выполняться косая симметрия. Например, для сетки на рис. 3 в узлах концевых сечений к рассмотренным ранее связям добавятся запреты на повороты вокруг осей y и z ($ROT_Y=ROT_Z=0$).

Отметим, что корректное задание кинематических граничных условий при расчетах фрагментов реальных конструкций обычно представляет собой непростую задачу. В рассматриваемой задаче проверка правильности их задания контролировалась тем, что во всех витках крепи их поведение должно быть аналогичным. Как будет показано далее, все витки вели себя одинаково, как крайние, так и средние. Этот факт позволяет утверждать, что принятые кинематические граничные условия точны.

Для унификации многократных расчетов крепей с различными параметрами в среде Параметрического Языка Программирования APDL (ANSYS Parametric Design Language) была разработана программа-макрос FOne.mac. В ней реализованы технические возможности проведения расчетов и постпроцессингового анализа крепей по расчетной схеме обсужденной выше.

В качестве иллюстрации возможностей этой программы далее приводятся результаты расчетов варианта крепи с параметрами, приведенными в табл. 1.

При расчете полагалось, что ферменный элемент полностью помещается в винтовой канал и внутреннее волокно его поперечного сечения имеет радиус кривизны равный R_k . В этом случае радиусы осей внешнего и внутреннего поясов определяются как $R_2 = R_k + d_2/2 = 1606$ мм и $R_1 = R_k + d_2/2 + H = 1757$ мм. Поперечное сечение ригелей из двух круглых стержней с диаметром $d_3 = 12$ мм заменялось одним круглым стержнем с диаметром эквивалентным им по площади $d_{3,экв} = 15$ мм.

Таблица 1

Значения параметров фрагмента АЗК ферменного типа

№	Параметр	Обозначение	Ед. измер.	Значение
1	Радиус сечения выработки	R_k	мм	1600
2	Диаметр поперечного сечения внешнего пояса	d_1	мм	30
3	Тоже внутреннего пояса	d_2	мм	36
4	Тоже раскосов	d_3	мм	12
5	Высота поперечного сечения крепи по осям поясов	H	мм	151
6	Длина витка крепи по оси z	L_B	мм	800
7	Число панелей на одном витке		шт	40
8	Число витков в расчетной модели		шт	2

Расчетная распределенная нагрузка программным способом заменялась статически эквивалентными ей сосредоточенными силами, приложенными в узлах внешнего пояса поперечного сечения крепи. Связевые элементы в силовой расчетной схеме не учитывались, что идет в запас прочности.

В макросе реализованы два варианта задания кинематических связей в направлении глобальной оси z (продольной оси выработки). Первый вариант состоит в наложении связей на все узлы крепи. Этот вариант учитывает потенциальную возможность распора крепи в винтовом канале, что обеспечивает невозможность перемещений вдоль оси z . Вторым вариантом является закрепление узлов расположенных в сечениях, где соединяются крепь и продольные связи. Этот вариант был описан выше. В дальнейшем изложении эти варианты закрепления будут называться соответственно первым и вторым.

Возможности макроса позволяют исследовать результаты расчетов в виде эпюр внутренних усилий или связанных с ними напряжений. Так, каждый из стержней испытывает в общем случае сложное сопротивление изгиба со сжатием и кручением. В рамках данного сообщения обсуждались только нормальные напряжения, действующие в поперечных сечениях поясов и раскосов. Они определяются по стандартным правилам строительной механики

$$\sigma^N = \frac{N}{A}; \quad \sigma^{M_y} = \frac{M_y}{W_y}; \quad \sigma^{M_z} = \frac{M_z}{W_z}, \quad (1)$$

где σ^N – нормальное напряжение от действия продольной силы;

σ^{M_y} и σ^{M_z} – максимальные нормальные напряжения от действия изгибающих моментов;

W_y и W_z – моменты сопротивления поперечного сечения при изгибе. У круглого поперечного

$$\text{сечения } W_y = W_z = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3.$$

Отметим, что в данном исследовании внутренние усилия и напряжения связаны с локальными осями конечного элемента. Продольная ось x элемента ВЕАМ188 направлена вдоль узлов на концах элемента. Поперечная ось y элемента направлена параллельно глобальной координатной плоскости xOy . В этом случае изгибающий момент M_y соответствует изгибу из плоскости поперечного сечения, т.е. перпендикулярно плоскости действия нагрузки. В плоскости поперечного сечения (в плоскости действия нагрузки) изгиб связан с моментом M_z . При анализе результатов расчетов необходимо учитывать, что от изгиба в крайних точках сечения действуют как растягивающие, так и сжимающие напряжения. На эпюрах напряжений показаны напряжения только на одной фибре (стороне сечения), которые могут быть положительными (растягивающими) или отрицательными (сжимающими). По-

этому суммарные расчетные напряжения должны определяться как сумма модульных значений от продольных сил и изгибающих моментов.

На рис. 4-5 приведены эпюры напряжений σ^{M_y} отдельно по разным группам стержней – внешнему поясу, внутреннему поясу и раскосам при двух вариантах связей, т.к. главное отличие в поведении при разных вариантах проявляется в распределении напряжений от изгиба из плоскости действия нагрузки σ^{M_y} . Из эпюр, представленных на рис. 5, видно, что в окрестности мест прикрепления продольных связевых элементов возникает значительное местное увеличение этих компонент напряжений.

Из этого факта следуют, как минимум, следующие выводы. Поведение ферменного винтового стержня обладает значительными отличиями по сравнению с плоскими креплениями. В винтовых ферменных конструкциях проявляется тенденция к закручиванию поясов относительно друг друга. Видимо, этот факт и приводит к появлению изгиба раскосов из плоскости действия нагрузки.

В условиях, когда раскосы намного податливее поясов, в них возникают напряжения, намного превышающие напряжения в поясах. Раскосы становятся опасными элементами конструкции. Снижение влияния закручивания поясов можно достичь раскреплением крепи в винтовых каналах. Этот факт подтверждается сравнением эпюр σ^{M_y} для первого и второго вариантов закрепления. Закрепление по первому варианту уменьшает σ^{M_y} по сравнению со вторым более чем в три раза.

Другим способом уменьшения влияния закручивания поясов может быть использование ферменных конструкций пространственного типа, например, с треугольным сечением с тремя поясами.

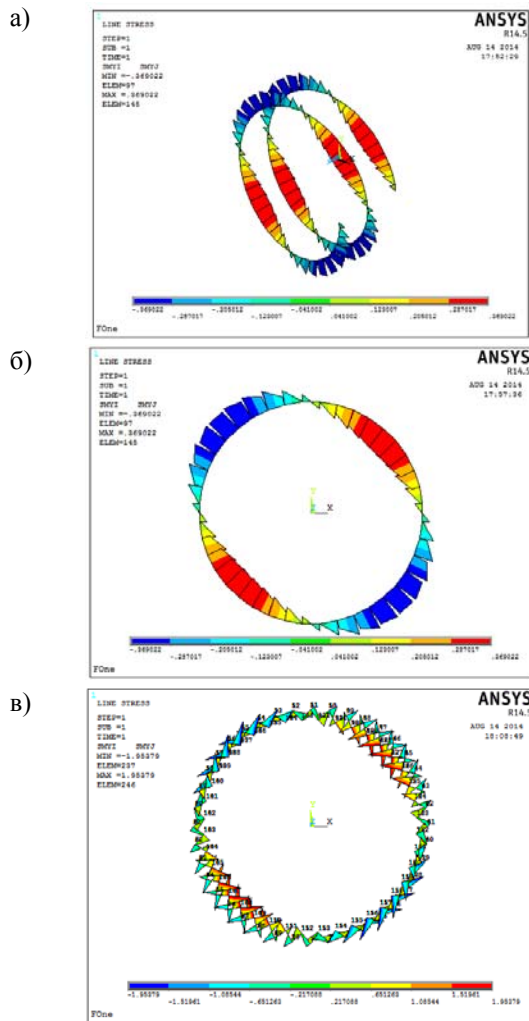


Рис. 4. Эпюры напряжений σ^{M_y} при первом варианте связей: а) во внешнем поясе, б) во внутреннем поясе в) в раскосах

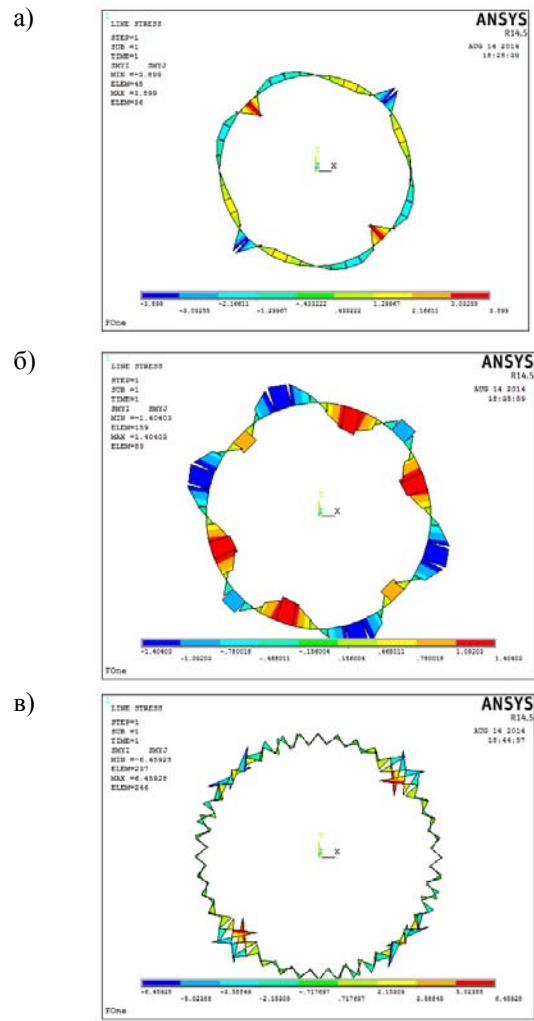


Рис. 5. Эпюры напряжений σ^{M_y} при втором варианте связей: а) во внешнем поясе, б) во внутреннем поясе в) в раскосах

Литература.

1. Estimation of torque variation of geohod transmission with hydraulic drive. Vladimir V. Aksenov, Mikhail Yu. Blaschuk, Mikhail V. Dubrovskii // Applied Mechanics and Materials Vol. 379 (2013) pp 11-15. Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.379.11
2. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face V.V. Aksenov, A.B. Efremenkov, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials Vol. 379 (2013) pp 16-19 Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16
3. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER V.V. Aksenov a, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials Vol. 379 (2013) pp 20-23 Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.379.20
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блашук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Сапожкова А.В. Разработка требований к основным системам геодола // Горное оборудование и электромеханика/ Москва, 2009– №5. С.3-7.
5. Аксенов В.В., Казанцев А.А. Армирующая законтурная крепь горных выработок – новый подход к строительству подземных сооружений / Институт угля Сибирского отделения РАН: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2013. — № 06. – с. 411-419 ISSN 0236-149
6. Influence of the longitudinal excavations layout on stress concentration value in the peripheral rock mass. Alexander F. Revuzhenko, Anton A. Kazantsev, Yuri F. Glazkov, Andrey A. Dortman // Applied Mechanics and Materials Vol. 682 (2014) pp 196-201. Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.682.196
7. Dimitrios Kolymbas. Tunneling and Tunnel Mechanics A Rational Approach to Tunnelling // Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, 431 p. ISBN-13 978-3-540-25196-5 Springer Berlin Heidelberg New York
8. Bernhard Maidl, Markus Thewes, Ulrich Maidl. Handbook of tunnel engineering. Volume I: Structures and Methods © 2013 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany ISBN: 978-3-433-03048-6
9. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; Отв. ред. Писаренко Г. С. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 737 с.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ КОРПУСА ГЕОДОЛА

А.Н. Капустин

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-05-37
E-mail: lexcol@tpi.ru*

В современных условиях ресурсопотребления растут показатели добычи полезных ископаемых, что неизбежно приводит к увеличению объемов проходческих работ, в результате которых появляется вероятность возникновения техногенных аварий и катастроф. Возникает необходимость как можно быстрее попасть к месту аварии для спасения людей. Так же с ростом городов и мегаполисов увеличивается потребность в расширении транспортной системы, что невозможно в условиях современных городов без использования подземного пространства.

Данные факторы заставляют совершенствовать технику и технологии проведения горных выработок. Довольно активно ведется разработка более современных горнопроходческих систем. Одной из систем является геовинчестерная технология[1], базовым элементом которой является геодола. Геодола как любая техническая система имеет основу, на которой расположены все необходимые узлы и агрегаты, ею является корпус (носитель) геодола. Необходимость создания корпуса геодола отражена в работе[2]. Так как корпус (носитель) геодола задуман конструкторами как элемент неизбежно несущий нагрузку горного давления, он должен обладать достаточной прочностью и жесткостью. Кроме того для создания тягового и напорного усилия на исполнительном органе используется приконтурное пространство для этого конструкция геодола предусматривает передачу крутящего момента через корпус на винтовую движительную головную секцию. Основная нагрузка при создании усилия тяги и напорных усилий приходится на корпус как связующий элемент между движителем и силовой установкой. Так же для предотвращения проворачивания хвостовой секции вокруг своей оси на ней предусмотрены элементы противовращения, которые через носитель воспринимают силу реакции породы вследствие приложения крутящего момента к головной секции аппарата.