

УДК 622.831

*к.т.н. Кизияров О. Л.,
Болотов А. П.,
к.т.н., д.э.н. Бизянов Е. Е.,
д.э.н. Коваленко Н. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ПРОГНОЗ ШАГА ПЕРВИЧНОЙ ОСАДКИ ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ ПРИ РАЗВОРОТЕ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

На основании моделирования с применением МКЭ предложены эмпирические зависимости для прогноза шага первичной осадки основной кровли при поэтапном развороте линии очистного забоя. Определена область рационального применения данной технологии.

Ключевые слова: осадка кровли, очистной забой, метод конечных элементов, опорный контур.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Использование механизированных комплексов на угольных шахтах в лавах с труднообрушаемой кровлей не всегда позволяет повысить безопасность ведения очистных работ. Отход линии очистного забоя от монтажной камеры на начальном этапе работы сопровождается резким возрастанием нагрузок на секции крепи, повышением интенсивности смещений пород в лаве. При первичном обрушении массива труднообрушаемой кровли возможен выход из строя очистного оборудования в пределах призабойного пространства, связанный с частичной или полной посадкой на «жёсткую базу» секций крепи и деформацией её элементов. Кроме того, наблюдаются вывалы непосредственной кровли в призабойное пространство, завалы лав, воздушные удары, разрушения и деформации крепи участковых выработок [1, 2]. Обрушение кровли при отходе лавы способствовало выделению большого объёма метана и угольной пыли, что приводило к взрывам и крупным авариям, а также провоцировало горные удары [3].

С целью снижения негативных проявлений горного давления в очистном забое до первичной осадки массива труднообрушаемой кровли целесообразно осуществлять предварительный разворот лавы при её от-

ходе от монтажной камеры. В ряде случаев первичная посадка кровли происходит поэтапно участками по площади её обнажения, что позволяет локализовать интенсивность оседания массива и обеспечить работу лавы без аварийных остановок [4].

Механизм и параметрические характеристики геомеханических процессов в труднообрушающемся массиве кровли при попеременно-диагональном её обнажении исследован в работе [5], однако расчёт шага первичной осадки кровли получен в основном на основании аналитических исследований. В работе [6] исследован характер разрушения труднообрушаемой кровли при её поэтапном обнажении для единичных условий (усреднённых), что не позволяет установить основные закономерности при иных, отличающихся условиях. Очевидно, что при определённых соотношениях пространственно-геометрических параметров линии очистного забоя (длина, угол разворота относительно монтажной камеры), а также горно-геологических факторов осадка основной кровли по длине лавы будет происходить поэтапно (многостадийная осадка); в других случаях этот процесс будет носить единовременный характер (одностадийная), т. е. возникает необходимость в установлении области рационального применения данной технологии. Таким образом, вопрос определения парамет-

ров шага осадки массива труднообрушаемой кровли до первичного её обрушения при развороте очистного забоя изучен недостаточно и носит актуальный характер.

Постановка задачи. Целью данной работы является установление характера и величины первичного шага осадки основной труднообрушаемой кровли в зависимости от геометрических параметров очистного забоя и горно-геологических условий отработки пласта при поэтапном развороте лавы. Задачами данной работы являются: выявление факторов, наиболее влияющих на величину первичного шага осадки кровли, и установление их количественных зависимостей; определение рациональной области применения технологии поэтапного разворота очистного забоя.

Изложение материала и его результаты. Для проведения исследований в работе использован метод конечных элементов. Для этого разработана численная объёмная параметрическая модель с возможностью варьирования исследуемыми факторами в широком диапазоне. Описание модели приведено в [7, 8]. Задание граничных условий аналогично работе [6].

К основным горно-геологическим факторам, влияющим на шаг осадки основной кровли, относятся: мощность h_0 и предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ труднообрушаемого слоя; глубина разработки H и др. К влияющим горнотехническим факторам следует отнести длину лавы l_l , форму обнажения кровли в выработанном пространстве, скорость подвигания очистного забоя $v_{оч}$ и др. На рисунке 1 представлена схема изменения положения линии очистного забоя после разворота лавы, где: l_b , l_{b1} , l_{b2} — ширина выработанного пространства в центре лавы, со стороны транспортной и вентиляционной выработок соответственно; γ_1 , γ_2 — угол разворота монтажной камеры и лавы относительно нормали к направлению отработки выемочного столба соответственно; $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ — полный угол разворота очистного забоя; $ABCD$ — опорный контур.

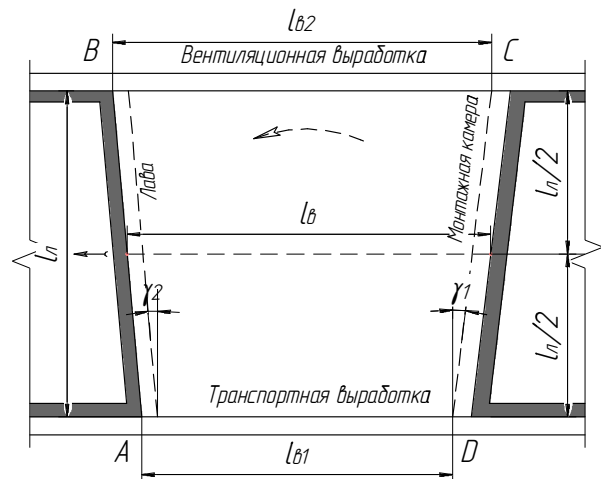


Рисунок 1 Схема изменения положения линии очистного забоя после разворота лавы

Принимая во внимание большое количество исследуемых факторов, влияющих на шаг первичной осадки основной кровли, расчёт производили в два этапа: на первом этапе исследовали влияние h_0 , $\sigma_{сж}$ и H , а на втором — γ_1 , γ_2 и l_l .

Первоначально спланирован полнофакторный эксперимент типа 2^k с возможностью учёта взаимодействия факторов между собой. При этом: $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$; $l_l \gg l_{l \max}$.

На основании проведённых ранее исследований [7, 8] установлено, что предел прочности и мощность труднообрушаемой кровли наилучшим образом коррелируют с шагом первичной осадки в степенной зависимости (показатель степени 0,5), в то время как глубина разработки H — в обратной, в связи с чем значения данных факторов будут использованы с учётом этих зависимостей. В таблице 1 представлены диапазоны варьирования факторов и их подставляемые значения, а в таблице 2 приведена матрица эксперимента и результаты расчётов.

После обработки результатов расчётов получено регрессионное уравнение в кодированном виде. Из уравнения исключены члены, оказывающие слабое влияние на результативный фактор.

Таблица 1
Диапазоны варьирования исследуемых факторов на первом этапе исследований

Значение	Фактор					
	фактический			используемый		
	$\sigma_{сж}$, МПа	h_0 , м	H , м	$\sigma_{сж}^{0,5}$	$h_0^{0,5}$	H^{-1}
<i>min</i> (-1)	60	5	600	7,75	2,24	0,000714
<i>max</i> (+1)	180	50	1400	13,42	7,07	0,00167

Таблица 2
Матрица планирования и результаты расчётов первого этапа исследований

№ п/п	Значение факторов			$Ш_{0\infty}$, м
	$\sigma_{сж}$	h_0	H	
1	+1	+1	+1	95
2	-1	+1	+1	70
3	+1	-1	+1	55
4	-1	-1	+1	50
5	+1	+1	-1	60
6	-1	+1	-1	52
7	+1	-1	-1	46
8	-1	-1	-1	43

Исследования показали, что наиболее значимым оказалось взаимодействие всех трёх исследуемых факторов. После преобразования кодированных факторов в натурные получена следующая регрессионная модель:

$$\begin{aligned} Ш_{0\infty} &= f(\sigma_{сж}, h_0, H) = \\ &= 39 + 336 \cdot \frac{\sqrt{\sigma_{сж} \cdot h_0}}{H}, \text{ м}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $Ш_{0\infty}$ — шаг первичной осадки основной кровли при $l_{л} \gg l_{л \max}$.

На втором этапе исследований рассмотрено взаимное влияние угла разворота очистного забоя при отходе от монтажной камеры, а также длины лавы на характер разрушения пород основной кровли. Проведённые аналитические исследования показали, что углы разворота монтажной камеры γ_1 и линии очистного забоя γ_2 равнозначны с позиции устойчивости слоя кровли. Следует отметить, что увеличение

значения угла γ_1 приводит к росту потерь угля в охранных целиках между монтажной камерой и подготавливающей выработкой, поскольку минимальная ширина целика регламентируется действующим нормативным документом [9]. Увеличение угла разворота лавы γ_2 приводит в первую очередь к организационным помехам, поскольку возникает необходимость в наращивании конвейера и крепи очистного забоя. Как показал опыт, на практике значение этого угла принимается не более 20...30° [4]. В дальнейшем будет исследован полный угол γ разворота очистного забоя. Диапазоны варьирования факторов на втором этапе исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3
Диапазоны варьирования исследуемых факторов на втором этапе исследований

Показатель	Исследуемый фактор		
	γ , град.	$l_{л}$, м	$Ш_{0\infty}$, м
Минимум	0	150	40
Максимум	40	300	100
Шаг варьирования	10	50	10

После выполнения расчётов анализировался характер обрушения, а также величина первичного шага осадки кровли.

На рисунке 2 представлена схема разрушения слоя основной кровли для одной из решённых задач. Как видно из рисунка, характер разрушения преимущественно блочный. Приблизительно в центре выработанного пространства величины растягивающих напряжений превышают соответствующий предел прочности пород кровли, и в данном месте происходит разрушение. Затем фронт разрушения перемещается в направлении подготовительных выработок. Далее происходит разлом зависших консольных частей кровли до опорного контура и их падение в выработанном пространстве на почву пласта. Обрушение слоя происходит в виде «конверта», что часто наблюдается, согласно натурным исследованиям [10].

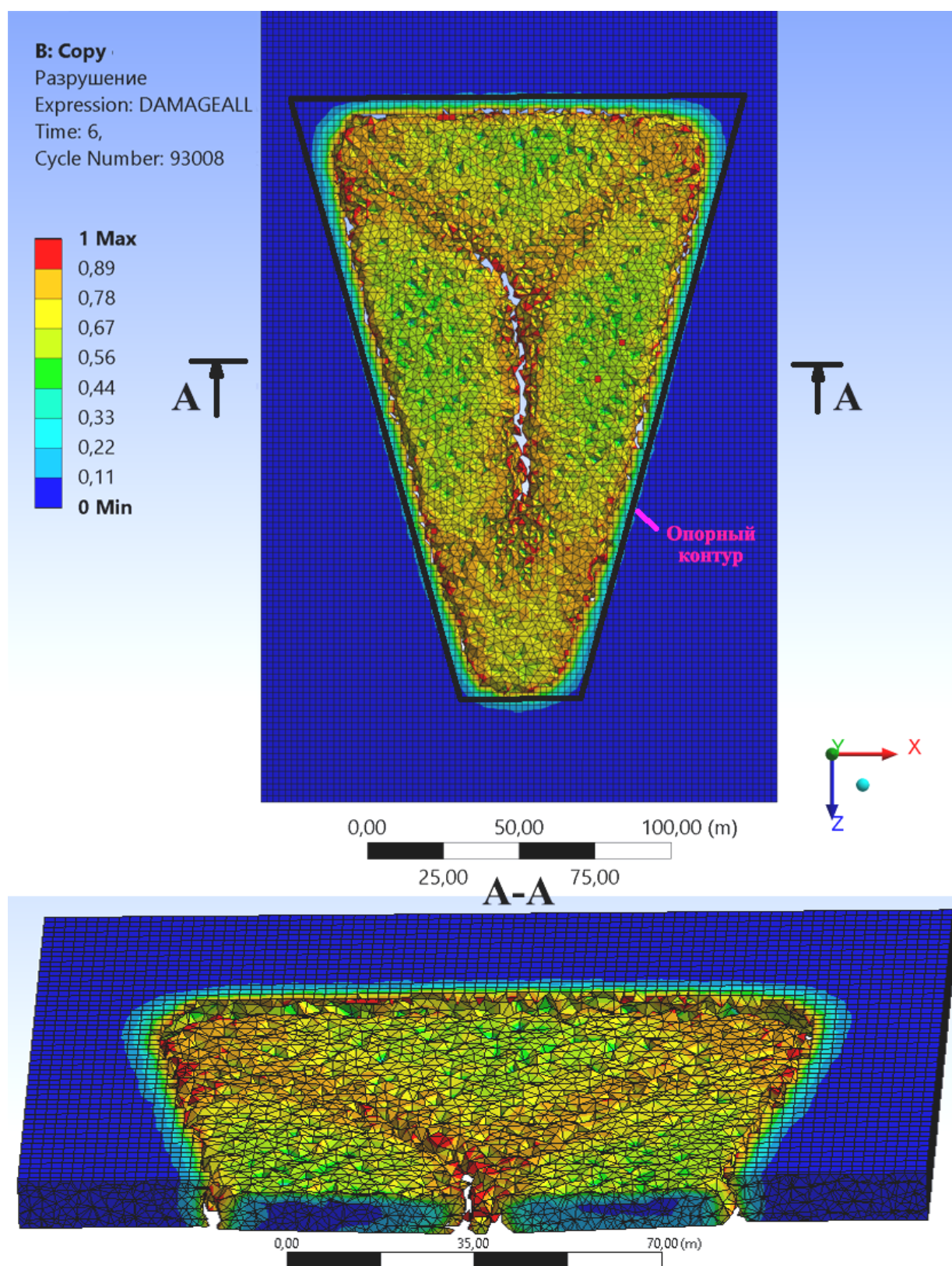


Рисунок 2 Схема разрушения слоя труднообрушаемой кровли очистного забоя (однотайный процесс осадки)

В определённых случаях зона обрушения кровли не доходит до транспортной выработки, т. е. наблюдается многостадийная осадка.

По результатам исследований построен график (рис. 3) — эмпирическая пространственная поверхность, определяющая характер осадки кровли.

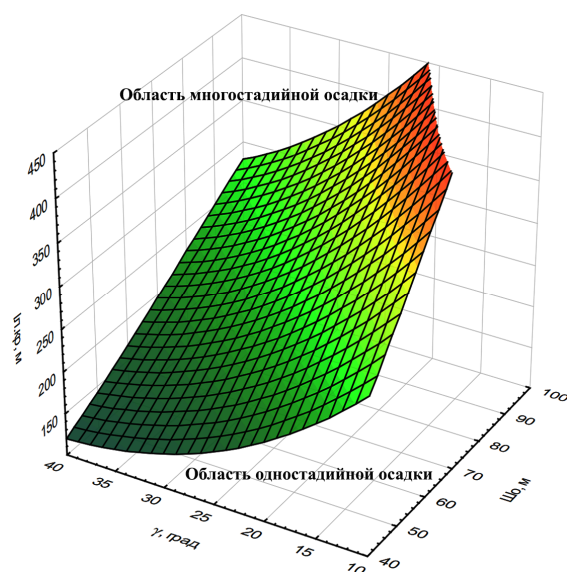


Рисунок 3 График для определения характера осадки кровли

Пересечение по осям значений трёх факторов даёт некоторую точку. Если точка располагается выше полупространства, ограниченного поверхностью, то режим осадки многостадийный и целесообразно применение технологии поэтапного разворота очистного забоя, в противном случае разворот лавы неэффективен.

Получено условие, при котором наблюдается многостадийная осадка основной кровли:

$$l_{л} > l_{л.кр} = 99,1 \cdot \frac{Ш_{0\infty}}{\gamma}, \text{ м.} \quad (2)$$

Проанализируем зависимость (2). При отсутствии разворота очистного забоя ($\gamma \approx 0^\circ$) значение $\lim_{\gamma \rightarrow 0} l_{л.кр} = \infty$, т. е. при любом сочетании длины лавы и горно-

геологических условий многостадийность осадки основной кровли не обеспечивается. Увеличение угла разворота очистного забоя приводит к снижению критического значения $l_{л.кр}$, что существенно повышает вероятность многостадийной осадки.

На основании проведённых исследований получена эмпирическая зависимость для прогноза шага первичной осадки основной кровли:

$$Ш_0 = \begin{cases} 1,82 \cdot Ш_{0\infty} - 1,9 \cdot \gamma & \text{— при } l_{л} > l_{л.кр}; \\ \frac{Ш_{0\infty} \cdot l_{л}}{l_{л} \cdot \cos^{-1} \gamma - Ш_{0\infty}} & \text{— при } l_{л} \leq l_{л.кр}. \end{cases} \quad (3)$$

Значение $Ш_{0\infty}$ вычисляется по формуле (1). Вторая составляющая условия (3) определена исходя из величины эквивалентного пролёта [10].

Следует отметить, что осадка кровли произойдёт в тот момент, когда ширина выработанного пространства в центре лавы достигнет критического значения (3), т. е. $l_g = Ш_0$.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании численного моделирования установлены наиболее влияющие на величину шага первичной осадки кровли горно-геологические и горнотехнические факторы. При определённых сочетаниях длины очистного забоя, угла его разворота, а также горно-геологических условий осадка кровли осуществляется в несколько этапов, т. е. наблюдается многостадийный режим. Предложены эмпирические зависимости для прогноза шага первичной осадки труднообрушаемой основной кровли, а также условия для оценки эффективности применения данной технологии.

Направлениями дальнейших исследований являются анализ и учёт влияния скорости подвигания очистного забоя на величину шага первичной осадки основной кровли при развороте линии очистного забоя.

Библиографический список

1. Журило, А. А. Горное давление в очистных забоях с труднообрушающимися кровлями [Текст] / А. А. Журило. — М. : Недра, 1980. — 124 с.
2. Овчинников, В. П. Геомеханічне обґрунтування технології управління важкообвальною покрівлею на викидонебезпечних пластах [Текст] // В. П. Овчинников, Ю. М. Халімендик, В. Д. Петренко, В. П. Романенко. — Луганськ : Книжковий світ, 2005. — 208 с.
3. Клишин, В. И. Комплексный метод снижения удароопасности на угольных шахтах [Текст] / В. И. Клишин, Г. Ю. Опрук, А. А. Черепов // Уголь. — 2018. — № 9. — С. 56–62.
4. Борзых, А. Ф. Опыт поэтапной первичной посадки кровли в комплексно-механизированных лавах [Текст] / А. Ф. Борзых, А. П. Болотов, В. Н. Григоряк // Уголь Украины. — 2009. — № 5. — С. 3–4.
5. Князьков, О. В. Изменение положения линии очистного забоя в пространстве как метод первичной посадки труднообрушаемой кровли [Текст] / О. В. Князьков, Г. А. Аверин, А. П. Болотов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2007. — Вып. 25. — С. 101–105.
6. Болотов, А. П. Моделирование первичной посадки труднообрушаемой кровли в лаве при поэтапном развороте линии очистного забоя [Текст] / А. П. Болотов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2012. — Вып. 36. — С. 126–138.
7. Кизияров, О. Л. К вопросу определения первичного шага осадки основной кровли в лаве [Текст] / О. Л. Кизияров, С. И. Касьян, А. П. Болотов // Экология и безопасность жизнедеятельности – 2017 : материалы Международной конференции, посвящённой 20-летию ВУО МАНЭБ. — Алчевск : ДонГТУ; ВУО МАНЭБ, 2017. — С. 151–157.
8. Куберский, С. В. Численный анализ влияния длины и скорости подвигания очистного забоя на величину шага первичной осадки кровли [Текст] / С. В. Куберский, О. Л. Кизияров, А. П. Болотов, Е. Е. Бизянов, Н. В. Коваленко // Новые технологии и проблемы технических наук : сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — Красноярск, НН : ИЦРОН, 2018. — № 5. — С. 21–25.
9. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст]. — К. : Мінвуглепром України, 2007. — 116 с.
10. Борисов, А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. — М. : Недра, 1980. — 360 с.

© Кизияров О. Л.
 © Болотов А. П.
 © Бизянов Е. Е.
 © Коваленко Н. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
 к.т.н., доц. СУНИГОТ ЛНУ им. В. Даля Штанько Л. А.*

Статья поступила в редакцию 16.11.18.

к.т.н. Кізіяров О. Л., Болотов О. П., к.т.н., д.е.н. Бізянов Є. Є., д.е.н. Коваленко Н. В.
 (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПРОГНОЗ КРОКУ ПЕРВИННОГО ОСІДАННЯ ВАЖКООБРУШУВАНОЇ ПОКРІВЛІ ПРИ РОЗВОРОТІ ЛІНІЇ ОЧИСНОГО ВИБОЮ

На підставі моделювання із застосуванням МСЕ запропоновано емпіричні залежності для прогнозу кроку первинного осідання основної покрівлі при поетапному розвороті лінії очисного вибою. Визначено область раціонального застосування даної технології.

Ключові слова: осідання покрівлі, очисний вибій, метод скінчених елементів, опорний контур.

PhD Kiziyarov O. L., Bolotov A. P., PhD, Doctor of Economics Bizianov E. E., Doctor of Economics Kovalenko N. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

PREDICTION OF THE FIRST SETTling INCREMENT OF THE POORLY CAVING ROOF WHEN THE BREAKAGE FACE LINE TURNS OVER

Based on the modeling with the use of the FEM, the empirical dependencies have been given for the prediction of the first settling increment of the main roof at the phased turning of the breakage face line. The field of rational application of this technology is defined.

Key words: *roof settling, breakage face, finite elements method, index contour.*