

*В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, В.Ю. Бегляков*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ПОРОДЫ, СОЗДАВАЕМОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
НА НЕЁ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА  
ГОРНОЙ МАШИНЫ**

*Рассмотрены методы математического моделирования взаимодействия исполнительного органа с породой забоя, и анализ полученных при этом картин напряженно-деформированного состояния (НДС) породы забоя.*

*Ключевые слова: горные машины, математическое моделирование горная порода.*

---

Существует множество различных типов, конфигураций и конструктивных решений исполнительных органов горных машин. Чтобы сделать правильный выбор и определить рациональные параметры исполнительного органа горной машины при её проектировании необходимо оценить характер взаимодействия инструмента с породой забоя. Изготовление экспериментальных образцов и проведение испытаний в горных условиях связано с весьма значительными затратами и не всегда оправдано. К тому же, в настоящее время в нашей стране не существует испытательного полигона для горных машин.

Применение математического моделирования взаимодействия исполнительного органа с породой забоя, и анализ полученных при этом картин напряженно-деформированного состояния (НДС) породы забоя позволит провести теоретические исследования в этом направлении. Это позволит значительно сократить количество «неудачных» образцов горной машины на пути к созданию окончательного варианта.

Учитывая сложный характер нагружения забоя, для решения задачи математического моделирования в данном случае удобно применить методы численных расчетов, а именно метод конечных элементов (МКЭ).

При моделировании взаимодействия многолезцового инструмента с забоем можно приложить к модели нагрузку, имитирующую взаимодействие породы с каждым резцом исполнительного

органа с учетом схемы набора и угла поворота исполнительного органа относительно своей оси. Для таких исполнительных органов, как барабан коронка или шнек, это даст представление об НДС в породе забоя только для одного положения (угла поворота) исполнительного органа и только для одной схемы набора.

Если представить суммарную нагрузку от всех резцов исполнительного органа, как эквивалентные распределенные нормальную и касательную нагрузки, приложенные к поверхности контакта инструмента с забоем, то такая нагрузка в равной степени будет соответствовать любому положению исполнительного органа и любой схеме набора.

Для проверки применимости такой замены необходимо оценить сходность влияния распределенной нагрузки с влиянием суммарной нагрузки от нескольких резцов.

Для этого моделировались НДС цилиндрического образца породы диаметром  $D = 1200$  мм и высотой  $L = 800$  мм с различными схемами приложения нагрузки. Проводился сравнительный анализ результатов моделирования. На рис. 1 показаны схемы приложения нагрузок к моделям.

Нижний торец модели зафиксирован, а к верхнему прикладывались нагрузки по трем схемам:

1) концентрированная от одного резца в центре торца (рис. 1, б);

2) концентрированные от группы резцов, равномерно расположенных по площади круга диаметром  $d = 893$  мм (рис. 1, в);

3) распределенная нагрузка по площади кольца диаметрами  $D/d = 893/200$  мм и от одного резца в центре торца (рис. 1, г);

В местах контакта резца с массивом прикладывались силы нормальная  $P_n = 10$  кН и касательная  $P_t = 2,5$  кН, распределенные нагрузки нормальная  $q_n = 0,303$  МПа и касательная  $q_t = 0,076$  МПа эквивалентные суммарной нагрузке от соответствующей группы резцов.

При моделировании для всех схем приложения нагрузки определялось распределение главных напряжений  $\sigma_3$  по оси модели в зависимости от расстояния  $H$  до точки контакта центрального резца (рис. 1, а).

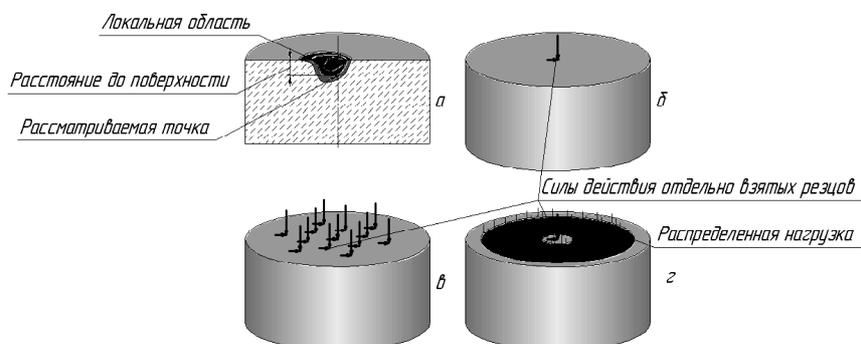


Рис. 1. Схемы приложения суммарной нагрузки: а) схема расположения рассматриваемой точки, б) один центральный резец, в) равномерное размещение группы резцов, г) центральный резец и распределенная нагрузка

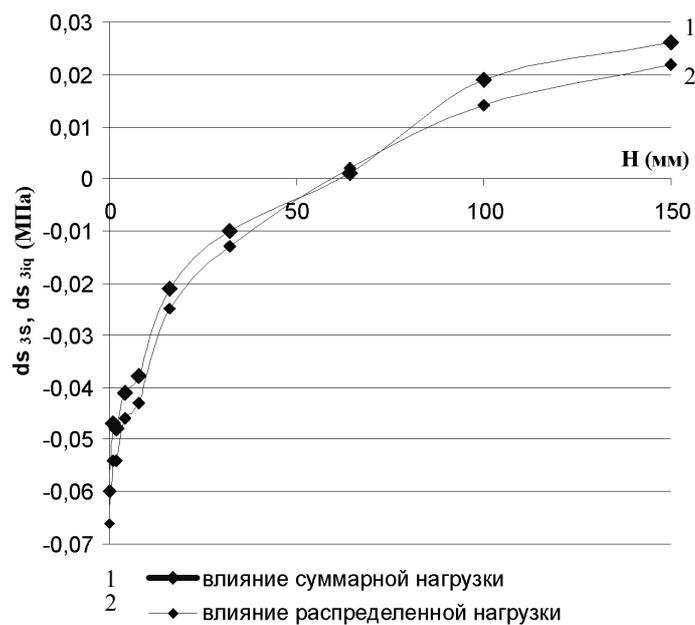


Рис. 2. Влияние суммарной и распределенной нагрузок

В табл. 1 приведены эпюры главных напряжений  $\sigma_3$ , для трех схем нагружения в различных диапазонах напряжений.

Таблица 1

Этюры главных напряжений  $\sigma_3$  для оценки влияния суммарной и распределенной нагрузок на НДС в локальной зоне

Шкала	Схемы нагружения модели		
	1 резец (рис. 1 б)	Группа резцов (рис. 1 в)	Распределенная нагрузка и 1 резец (рис. 1 г)
0...0,1 МПа			
0...0,2 МПа			
0...0,4 МПа			

Таблица 2  
**Численные результаты моделирования НДС**  
**в локальной зоне**

<i>H</i> (мм)	Значения главных напряжений $\sigma$ , на расстоянии <i>H</i> от контакта центрального резца (МПа)					
	$\sigma_{3i}$	$\sigma_{3\Sigma}$	$\delta\sigma_{3\Sigma}$	$\sigma_{3iq}$	$\delta\sigma_{3iq}$	$\sigma_{3q}$
0	-7,275	-7,335	-0,060	-7,341	-0,066	-0,070
1	-5,748	-5,795	-0,047	-5,802	-0,054	-0,056
2	-4,737	-4,785	-0,048	-4,791	-0,054	-0,053
4	-3,076	-3,117	-0,041	-3,122	-0,046	-0,051
8	-2,121	-2,159	-0,038	-2,164	-0,043	-0,046
16	-1,157	-1,178	-0,021	-1,182	-0,025	-0,029
32	-0,408	-0,418	-0,010	-0,421	-0,013	-0,013
64	-0,134	-0,133	0,001	-0,132	0,002	0,001
100	-0,052	-0,033	0,019	-0,038	0,014	0,014
150	-0,021	0,005	0,026	0,001	0,022	0,022

*H* – расстояние от поверхности в направлении породы

$\sigma_{3i}$  – напряжения, вызываемые воздействием одного резца

$\sigma_{3\Sigma}$  – напряжения, вызываемые суммарным воздействием 13-ти резцов

$\sigma_{3iq}$  – напряжения, вызываемые воздействием одного резца и распределенной нагрузки

$\sigma_{3q}$  – напряжения, вызываемые воздействием распределенной нагрузки

$\delta\sigma_{3\Sigma} = \sigma_{3\Sigma} - \sigma_{3i}$  и  $\delta\sigma_{3q} = \sigma_{3iq} - \sigma_{3i}$  влияние (изменения от приложения) суммарной и распределенной нагрузок

По общей картине НДС локальной зоны видно, что распределенная нагрузка оказывает влияние на НДС, сходное с влиянием группы резцов.

Численные результаты моделирования приведены в табл. 2.

На рис. 2 показаны графики влияний суммарной и распределенной нагрузок на НДС в локальной зоне. Влияние определялось как разница между значениями напряжений от воздействия соответствующей комплексной нагрузки и от воздействия одного центрального резца. Из графиков также видно что распределенная нагрузка оказывает влияние на НДС, сходное с влиянием группы резцов.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

1) распределенная нагрузка, эквивалентная суммарной, оказывает влияние на напряжения в локальных зонах, сходное по значению и распространению с влиянием суммарной нагрузки;

2) применение распределенных нагрузок может быть использовано, как инструмент при математическом моделировании взаимодействия исполнительного органа с горной породой.

---

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Логов А.Б., Замираев Р.Ю.* Математические модели диагностики уникальных объектов/Новосибирск, - Издательство СО РАН, 1999.-228 с.

2. *Ржевский В. В., Новик Г. Я.* Основы физики горных пород. Изд. 2-е, переработанное. – М.: «Недра», 1973. – 286 с. 

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Аксенов В.В.* – доктор технических наук, профессор, Юргинский технологический институт ТПУ, г. Юрга, v.aksenov@icc.kemsc.ru

*Ефременков А.Б.* – кандидат технических наук, доцент, Юргинский технологический институт ТПУ, г. Юрга.

*Бегляков В.Ю.* – ст. преподаватель, Юргинский технологический институт ТПУ, г. Юрга, begljakov@ramble.ru

