

Влияние формы опорной поверхности стационарно установленного упругого клапана на изменение предупредарной скорости бойка ударной машины

А. А. Речкин^{1}, Б. Б. Данилов¹*

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: lexher68@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена динамическая контактная задача взаимодействия бойка ударной машины с коническим кольцевым упругим клапаном из эластомера (резины), запирающим камеру обратного хода в ударных машинах для горного дела и строительства. Исследовано влияние формы опорной поверхности клапана на падение предупредарной скорости бойка при контактном взаимодействии. Определены варианты формы опорной поверхности клапана, при которых наблюдается наименьшее падение скорости. Для двух вариантов получена зависимость изменения падения предупредарной скорости с ростом упругих свойств эластомера. Определено, что с ростом упругих свойств материала падение предупредарной скорости увеличивается линейно, причем для формы опорной поверхности, которая показала меньшее падение скорости, предупредарная скорость с ростом модуля упругости падает меньше.

Ключевые слова: пневматические ударные машины, эластичный клапан, имитационная модель, контактная задача, оптимизация формы

Influence of Support Surface Shape of a Stationarily Installed Elastic Valve on the Change in Pre-impact Velocity of Impact Machine Striker

A. A. Rechkin^{1}, B. B. Danilov¹*

¹Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: lexher68@gmail.com

Abstract. The dynamic contact problem of the interaction between the impact machine striker and a conical annular elastic valve made of elastomer (rubber), which chokes the reverse motion chamber in impact machines for mining and construction, is considered. The influence of the shape of the valve support surface on the drop in the pre-shock velocity of the striker during contact interaction is studied. Variants of the shape of the supporting surface of the valve are founded, at which the smallest drop in velocity is observed. For two variants, the dependence of the change in the decrease of the pre-impact velocity with an increase in the elastic properties of the elastomer was obtained. It is proved that with an increase in the elastic properties of the material, the drop in pre-impact velocity increases linearly, and for support surface shape that previously showed a smaller velocity drop, the pre-impact velocity drops less with increasing modulus of elasticity.

Keywords: pneumatic impact machines, elastic valve, simulation model, contact problem, shape optimization

Введение

Запорно-регулирующие элементы из эластомеров (резины, полиуретана) находят в настоящее время применение при проектировании ударных пневмати-

ческих и гидравлических машин для горного дела и строительства. В ИГД СО РАН разработано семейство пневмомолотов «Тайфун» [1], серийно выпускаемых с 1990х годов и успешно применяемых при прокладке бестраншейных коммуникаций, добычи горных пород и т.д. В качестве запорного-регулирующего элемента в этих машинах используется кольцевой упругий клапан из эластомера, который, деформируясь, герметизирует камеру обратного хода и обеспечивает обратный ход бойка. Клапан установлен непосредственно на бойке и движется вместе с ним, при этом наружная поверхность растянутого клапана скользит по внутренней поверхности корпуса, что и обеспечивает герметизацию камеры обратного хода. Вместе с тем в ИГД СО РАН проводятся исследования [2-4] рабочих схем, в которых упругий клапан установлен стационарно на наковальне ударной машины. Это позволит избежать длительного фрикционного контакта наружной поверхности клапана с внутренней поверхностью корпуса, что уменьшит износ и увеличит его срок службы. В [3] предложена схема (рис. 1) со стационарно установленным коническим кольцевым упругим клапаном герметизации камеры обратного хода. Там же подробно рассмотрена способность такого запорного элемента закрывать выхлопной канал при взаимодействии с бойком ударника и ее зависимость от формы сечения, а по существу – от условий опирания внутренней поверхности клапана на наковальню и его деформации при взаимодействии с бойком.

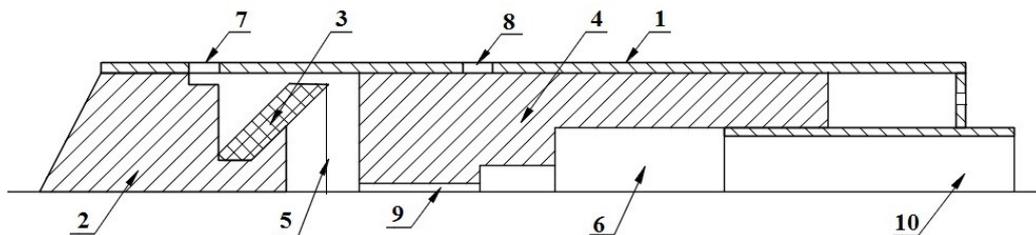


Рис. 1. Принципиальная схема ударной машины.

1-корпус, 2-наковальня, 3-клапан, 4-бойк, 5-камера обратного хода, 6-камера прямого хода, 7-первое выхлопное отверстие, 8-второе выхлопное отверстие, 9-межкамерный дроссель, 10-подача воздуха.

В то же время, очевидно, что часть кинетической энергии бойка, имеющего определенную предударную скорость, неизбежно будет затрачена на деформацию упругого клапана, что приведет к падению предударной скорости. В данной работе предполагается оценить падение предударной скорости бойка при взаимодействии с клапаном, зависимость величины этого падения от условий опирания и формы сечения конического кольцевого клапана, а также оценить снижение предударной скорости в зависимости от упругих свойств материала.

Методы и материалы

Чтобы определить изменение скорости бойка ударной машины при столкновении с клапаном (от начала контакта бойка с клапаном до удара бойка о нако-

вальню) необходимо решить динамическую контактную задачу (рис. 2). Масса бойка - 3,0418 кг, скорость бойка V до контакта с клапаном принята 4 м/с.

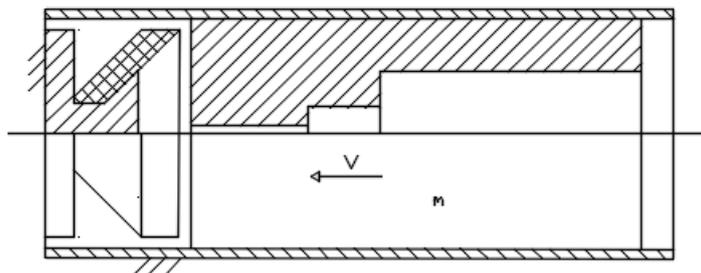


Рис. 2. Расчетная схема задачи.

Задача решалась методом конечных элементов в программном комплексе Ansys Mechanical [5] с применением трех пар контактного фрикционного взаимодействия: боек-клапан, клапан-наковальня, клапан-корпус. Коэффициент трения резина-сталь был принят равным 0,5. Трение между бойком и корпусом не учитывалось. Действие энергоносителя также не учитывалось. Для сравнительного анализа были выбраны три варианта исполнения конического кольцевого упругого клапана из одинакового материала (рис. 3). Варианты Б и В отличаются от варианта А наличием соответственно фаски и скругления на гранях контакта клапана с наковальней.

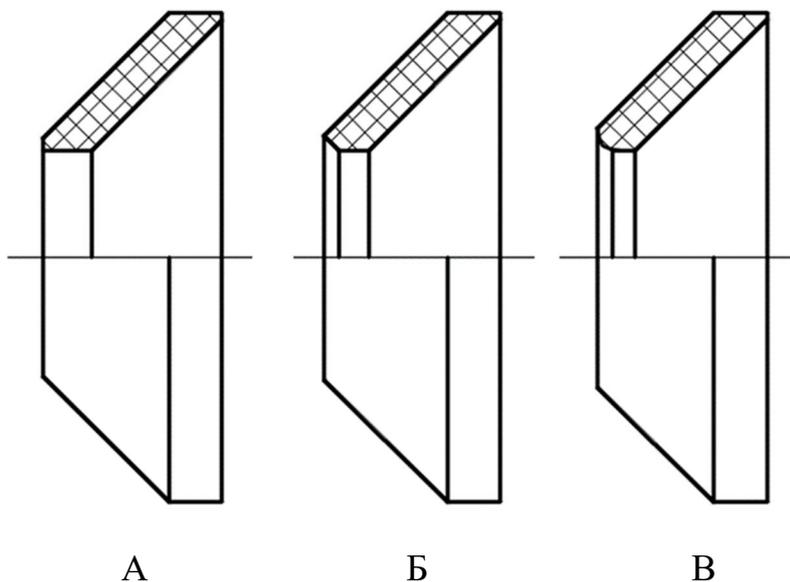


Рис. 3. Варианты исполнения клапана

Строго говоря, зависимость напряжения от деформаций для резины и других эластомеров не подчиняется закону Гука, так как эти материалы обладают гиперупругими свойствами. В литературе [6] указывается, что линейную зависи-

мось напряжение-деформации можно использовать при относительной деформации до 10%. В связи с трудностями с наличием данных по гиперупругим моделям в первой части задачи будем использовать библиотечный материал Ansys с постоянными Муни-Ривлина [7] $C_{10}=1,5 \cdot 10^5$ Па, $C_{01}= 1,5 \cdot 10^4$ Па, $D1=1,212 \cdot 10^{-9}$ 1/Па. Во второй части задачи, для сравнения изменений предударной скорости в зависимости от упругих свойств материала ограничимся линейной моделью и проведем расчет вариантов А и Б с изменением модуля Юнга от $0,9$ до $1,2 \cdot 10^7$ Па с шагом 10^6 Па и коэффициентом Пуассона $0,45$.

Результаты

На рис. 4, 5 и в табл. 1. приведены результаты расчетов для трех вариантов исполнения упругого клапана для одного материала по гиперупругой модели.

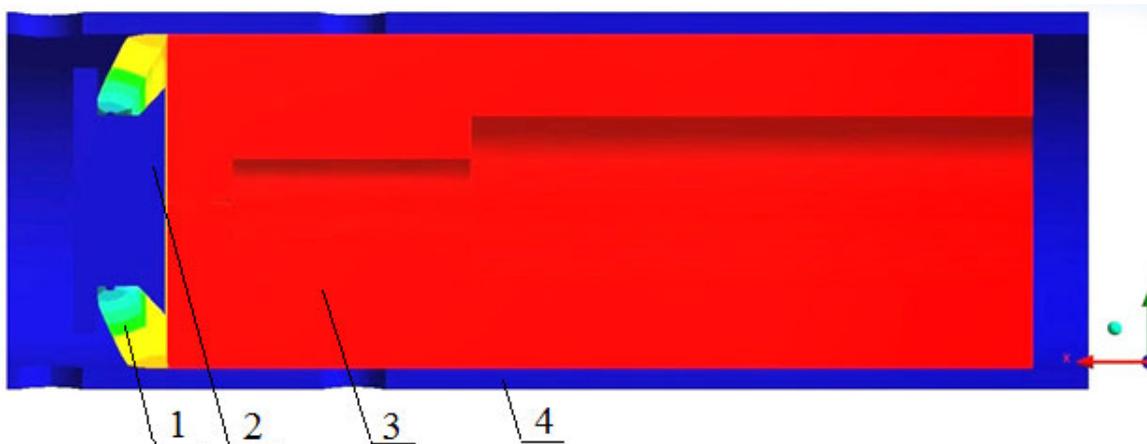


Рис. 4. Конечное положение бойка и деформированного клапана:
1 – клапан, 2 –наковальня, 3 – боек, 4 – корпус.

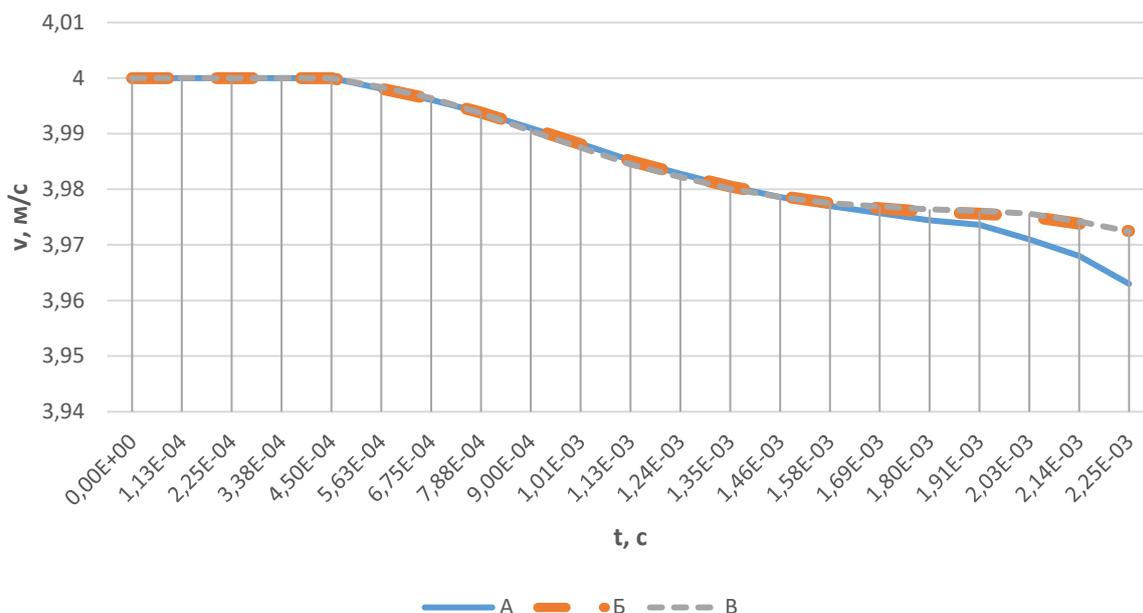


Рис. 5. Скорость движения бойка для вариантов исполнения клапана А, Б и В

Таблица 1

Падение предупредной скорости для разных вариантов исполнения клапана

Падение скорости, $-\Delta v$	Вариант		
	А	Б	В
м/с	0,037	0,0275	0,0276
%	0,925	0,6875	0,6900

Как видно из полученных данных, падение скорости за время движения бойка $t=2,25 \cdot 10^{-3}$ с составило 0,0275-0,037 м/с или 0,6875-0,925 % от начальной скорости 4 м/с. Из результатов расчета следует, что падение скорости в варианте А заметно превышает падение скорости в случае использования клапанов в вариантах исполнения Б, В. Варианты Б и В показали практически одинаковые результаты. В этих двух вариантах падение скорости на 25% меньше по сравнению с вариантом А.

Оценим теперь, как будет меняться предупредная скорость после контакта бойка с клапаном при изменении упругих свойств материала клапана. Проведем расчет той же задачи с клапанами типа А и Б для материала клапана с ν -том Пуассона 0,45 и модулем Юнга от 0,9 до 1,2 10^7 Па, изменяя его с шагом 10^6 Па. Результаты приведены в табл. 2. и на рис. 6. Очевидно, что в этом случае мы имеем дело с более жесткими материалами и падение скорости составляет уже 1,46-2,3% для варианта Б и 2,99-4,44% для варианта А. Здесь также вариант Б обладает явным преимуществом.

Таблица 2

Падение предупредной скорости для вариантов А и Б для разных модулей упругости материала клапана

Вариант	Падение скорости, $-\Delta v$	Е, 10^7 Па				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
А	м/с	0,1197	0,1356	0,1483	0,1683	0,1774
	%	2,99	3,39	3,71	4,21	4,44
Б	м/с	0,0585	0,0672	0,0754	0,0838	0,092
	%	1,46	1,68	1,89	2,10	2,30

Кроме того, согласно полученного графика (рис. 6) падение предупредной скорости линейно увеличивается с ростом модуля упругости резины в обоих случаях, однако в случае Б угловой коэффициент прямой меньше, т.е. падение предупредной скорости с ростом модуля упругости растет в 1,76 раза меньше по сравнению с вариантом А.

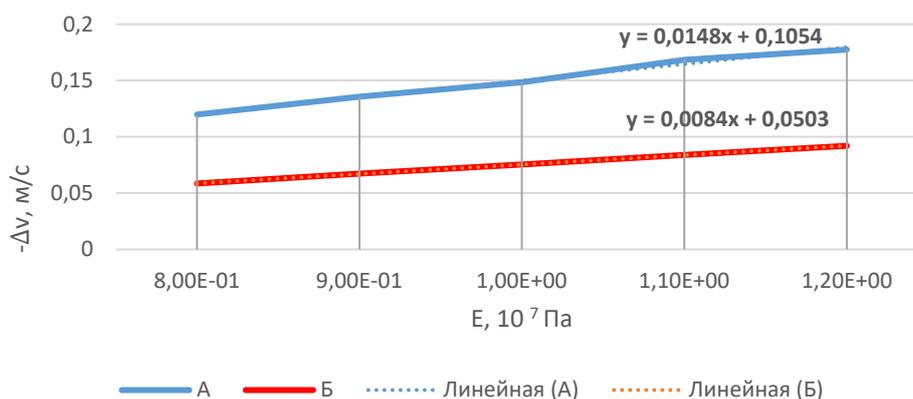


Рис. 6. Зависимость падения предударной скорости от модуля упругости резины для вариантов А и Б исполнения клапана

Заключение

По результатам проведенных численных экспериментов можно заключить, что снижение предударной скорости бойка зависит от характера опирания внутренней поверхности клапана на наковальню и характера его деформирования. Графики предударной скорости (рис. 5) совпадают для всех трех вариантов на первом этапе деформирования, который вызван только работой контактной пары боек-клапан. На втором этапе деформирования, когда начинает работать пара клапан-наковальня, наблюдаются существенные отличия в изменении предударной скорости. Варианты Б и В, имеющие в зоне опирания на наковальню фаску и скругление соответственно, показывают практически одинаковое падение скорости, меньшее на 25% по сравнению с вариантом А. При этом падение скорости при использовании вариантов Б и В меньше зависит от упругих свойств материала (рис. 6). Согласно полученным результатам, с ростом жесткости материала растет и разница в падении предударной скорости между вариантами А и Б. Рост падения предударной скорости с ростом модуля упругости для варианта Б происходит в 1,76 раз медленнее, чем для варианта А. Следовательно, в данной конструктивной схеме предпочтительно использовать вариант упругого элемента типа Б.

Таким образом, при проектировании ударных устройств с упругими элементами подобных схем, следует обращать внимание на то, насколько форма упругого элемента и характер его опирания влияет на падение предударной скорости бойка при их взаимодействии и выбирать вариант, приводящий к наименьшим потерям скорости. Так же следовало бы найти такую форму клапана, при которой для перекрытия выходного канала было бы достаточно только первого этапа деформирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // ФТПРПИ. - № 5. – 2014. – С. 143-157.
2. Данилов Б.Б., Речкин А.А. Обоснование принципиальной схемы и определение энергетических и конструктивных параметров гидромолота объемного типа для проходки скважин

в грунте методом виброударного продавливания: *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2018. Т. 5. № 2. с. 234-237.

3. Данилов Б. Б., Речкин А. А. Оценка применимости в пневмо-ударных машинах и оптимизация формы стационарно установленного упругого клапана. // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021. XVII Междунар. научн. конгр. Международная науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»*. — Новосибирск: СГУГиТ, 2021: Т. 2. №3— С. 189 – 194.

4. Плохих В. В., Данилов Б. Б., Чещин Д. О. Исследование динамических параметров и рабочего цикла виброударных систем, участвующих в реализации адаптивных технологических процессов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021. XVII Междунар. научн. конгр., Международная науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»*.:— Новосибирск: СГУГиТ, 2021: Т. 2. №4— С. 67-76.

5. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

6. Потураев В.Н. Резиновые и резино-металлические детали машин. - М.: Машиностроение, 1966. – 299 с.

7. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. - М.: Машиностроение, 1977 - 216 с.

© А. А. Речкин, Б. Б. Данилов, 2022