

УДК 622.233.424-52

Антончик В.Е., магистр,
Пазынич А.В., магистр,
Демченко С.В., магистр
(ИГТМ НАН Украины),

Минеев А.С., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

СОУДАРЕНИЕ ТЕЛ И РАСЧЕТ ИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ГОРНЫХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Антончик В.Є., магістр,
Пазиніч А.В., магістр,
Демченко С.В., магістр
(ИГТМ НАН України),

Мінеєв О.С., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ЗІТКНЕННЯ ТІЛ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ГІРНИЧИХ МАШИН УДАРНОЇ ДІЇ

Antonchik V.Ye., M. S. (Tech.),
Pazynich A.V., M. S. (Tech.),
Demchenko S.V., M. S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine),

Mineev A.S., Ph.D. (Tech.), Assistant Professor
(State HEI "NMU")

COLLISION OF BODIES AND CALCULATION OF THEIR PARAMETERS FOR MINE PERCUSSION MACHINES

Аннотация. Разработка и проектирование машин ударного действия требует точного расчета подвижных деталей, таких как: элементы клапанов, запорные втулки, бойки и т. д. Существующие методики расчета не позволяют решить задачу соударяющихся деталей машин в нужном объеме.

В данной статье приведено решение задачи соударяющихся тел, в котором уравнения динамики движения тел и уравнения пройденных ими путей с учетом деформации соударяющихся деталей образуют систему уравнений. Решение данной системы уравнений позволяет определить не только действующие силы скорости и ускорения тел, но и время взаимодействия соударяющихся тел, и величину их деформации.

Данный метод определения параметров соударяющихся тел может быть использован для широкого круга задач, где взаимодействие тел происходит в области упругих деформаций.

Ключевые слова: запорная втулка, шток бойка, погружной пневмоударник, уравнение движения, соударяющиеся детали.

Важным условием работоспособности машин ударного действия (погружных пневмоударников, гидроударников перфораторов и др.) является дос-

таточная прочность деталей подвергающихся ударным нагрузкам.

По условиям работы указанных машин, соударяющиеся детали должны иметь массу и геометрические размеры в определенных пределах, что не позволяет проектировать их без точного расчета на прочность в отдельных сечениях. Существующие методики расчета не позволяют решить задачу соударяющихся деталей таких машин в нужном объеме [1-4]. Ранее авторами решались задачи взаимодействия деталей в погружном гидроударнике [5]. Дальнейшее развитие теории расчета взаимодействия деталей ударных машин получило в расчете соударения деталей погружного пневмоударника.

Рассмотрим простейший пример расчета соударения штока бойка с запорной втулкой погружного пневмоударника, которая исполняет роль нижнего клапана (рис. 1).

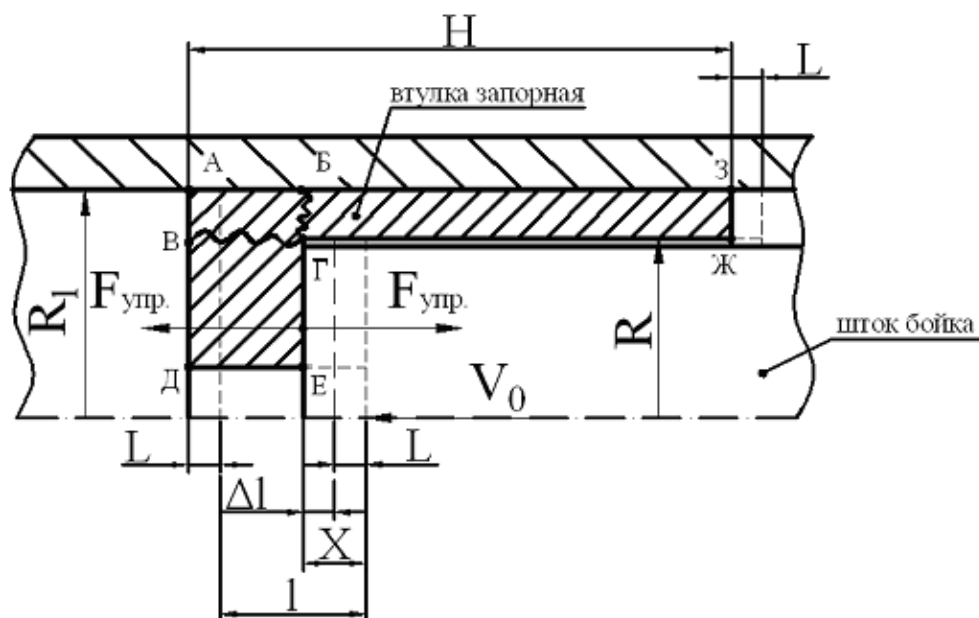


Рисунок 1 - Соударяющиеся детали пневмоударника

Рассмотрим перемещения и силы, действующие на данные соударяющиеся детали (рис. 1) и составим уравнения их движения. Считаем, что материалы соударяющихся деталей работают в области упругих деформаций, а удар - абсолютно упругий. На рисунке 1 пунктиром обозначено исходное положение запорной втулки до столкновения со штоком бойка. После столкновения с втулкой шток бойка, деформируя и перемещая впереди себя запорную втулку, за некоторый промежуток времени t проходит расстояние x , а запорная втулка за этот же промежуток времени проходит расстояние L . В данном случае перемещение бойка $x(t)$ рассматривается как некоторая неизвестная функция, описывающая движение бойка с учетом деформации бойка во время удара.

Составим уравнения движения втулки, штока бойка и их перемещений с момента удара с учетом деформаций.

Разность расстояний пройденных штоком бойка и запорной втулкой после их столкновения за один и тот же промежуток времени есть величина деформа-

ции запорной втулки Δl (рис. 1)

$$x(t) - L(t) = \Delta l(t). \quad (1)$$

Все величины уравнения (1) переменные в зависимости от времени. Пренебрегая силами трения втулки со стенками корпуса, составим уравнения движения втулки. Разгон втулки осуществляется силой упругости в результате ее деформации после столкновения со штоком бойка

$$m_{\delta} \cdot w_{\delta} = F_{\text{упр.}}, \quad (2)$$

где m_{δ} – масса запорной втулки, кг; w_{δ} – ускорение запорной втулки, м/с²; $F_{\text{упр.}}$ – сила упругости в результате деформации втулки, Н/м².

По закону Гука при растяжении или сжатии металлического стержня сила упругости выражается зависимостью

$$\sigma = E\varepsilon; \quad \sigma = \frac{F_{\text{упр.}}}{S}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \quad S = \pi(R^2 - r^2); \quad E\varepsilon = \frac{F_{\text{упр.}}}{S};$$

$$F_{\text{упр.}}(t) = \frac{\Delta l(t)}{l} \cdot E\pi(R^2 - r^2), \quad (3)$$

где σ – напряжение в материале стержня, Н/м²; E – модуль упругости, Н/м²; ε – относительная деформация; S – поперечное сечение стержня, м²; l – длина стержня, м; Δl – величина деформации стержня.

Подставляя формулу (3) в (2) и представив ускорение как производную скорости по времени получим уравнение движения втулки

$$\frac{dv_{\delta}}{dt} = \frac{\Delta l(t)}{l \cdot m_{\delta}} E\pi(R^2 - r^2). \quad (4)$$

Запишем уравнение движения бойка в виде изменения его импульса с момента столкновения с запорной втулкой

$$m_{\delta}v_{0\delta} - m_{\delta}v_{\delta} = \int_0^t F_{\text{упр.}}(t)dt = \int_0^t \frac{E\pi(R^2 - r^2)}{l} \Delta l(t)dt, \quad (5)$$

где m_{δ} – масса бойка и штока, кг; v_0 – начальная скорость бойка, м/с; v_{δ} – текущая скорость бойка и штока, м/с.

Таким образом, движение запорной втулки и штока бойка в момент их столкновения и далее описывается тремя уравнениями (1), (4), (5), которые можно объединить в систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) - L(t) = \Delta l(t) \\ m_{\varepsilon} \cdot \frac{dv_{\varepsilon}}{dt} = \frac{\Delta l(t)}{l} E\pi(R^2 - r^2) \\ m_{\bar{\sigma}}v_{0\bar{\sigma}} - m_{\bar{\sigma}}v_{\bar{\sigma}} = \int_0^t \frac{E\pi(R^2 - r^2)}{l} \Delta l(t) dt \end{array} \right. .$$

Представив скорости втулки и штока бойка как производные пути по времени получим три уравнения с четырьмя неизвестными. Решение данной системы уравнений относительно времени t позволит получить зависимости величин Δl , v_{ε} , $v_{\bar{\sigma}}$, $w(t)$, $x(t)$, $L(t)$ от времени

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) - L(t) = \Delta l(t) \\ m_{\varepsilon} \cdot \frac{d^2L}{dt^2} = \frac{\Delta l(t)}{l} E\pi(R^2 - r^2) \\ m_{\bar{\sigma}}v_{0\bar{\sigma}} - m_{\bar{\sigma}} \frac{d^2x}{dt^2} = \int_0^t \frac{E\pi(R^2 - r^2)}{l} \Delta l(t) dt \end{array} \right. .$$

В результате решения системы уравнения получим следующие зависимости

$$\Delta l(t) = \frac{v_{\bar{\sigma}0}}{\omega} \sin \omega t; \tag{6}$$

$$v_{\varepsilon}(t) = \frac{m_{\bar{\sigma}}v_{\bar{\sigma}0}}{m_{\bar{\sigma}} + m_{\varepsilon}} [1 - \cos(\omega t)]; \tag{7}$$

$$v_{\bar{\sigma}}(t) = v_{\bar{\sigma}0} - \frac{m_{\bar{\sigma}}v_{\bar{\sigma}0}}{m_{\bar{\sigma}} + m_{\varepsilon}} [1 - \cos(\omega t)]; \tag{8}$$

$$x(t) = v_{\bar{\sigma}0} t - \frac{m_{\bar{\sigma}}v_{\bar{\sigma}0}}{(m_{\bar{\sigma}} + m_{\varepsilon})\omega} [\omega t - \sin(\omega t)]; \tag{9}$$

$$L(t) = \frac{m_{\bar{\sigma}}v_{\bar{\sigma}0}}{(m_{\bar{\sigma}} + m_{\varepsilon}) \cdot \omega} \cdot [\omega t - \sin(\omega t)]; \tag{10}$$

$$w_{\delta}(t) = \frac{m_{\delta} v_{\delta_0} \omega}{m_{\delta} + m_{\delta}} \cdot \sin(\omega t). \quad (11)$$

В соответствии с полученными зависимостями $v_{\delta}(t)$, $v_{\delta}(t)$, $w(t)$, $x(t)$, $L(t)$ и $\Delta l(t)$ строим графики по независимой переменной t (время) (рис. 2, 3, 4, 5) для конкретных размеров указанных деталей погружного пневмоударника для бурения скважин диаметром 43 - 45 мм по твердым породам, при $m_{\delta} = 0,012$ кг; $m_{\delta} = 0,73$ кг; $v_{\delta_0} = 7$ м/с; $l = 0,007$ м; $R_l = 0,008$; $R = 0,0065$; $r = 0,005$; $H = 0,06$ м

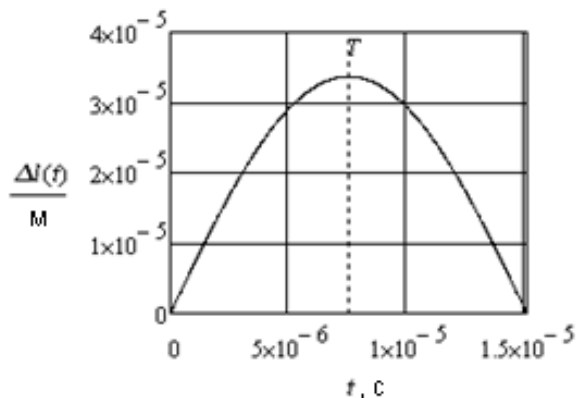


Рисунок 2 – Зависимость деформации втулки от времени

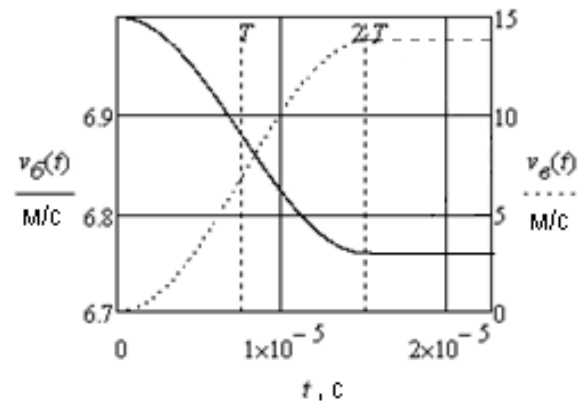


Рисунок 3 – Изменение скорости бойка и втулки от времени

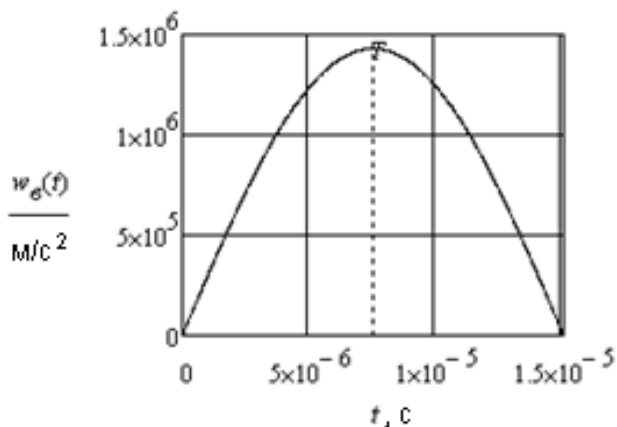


Рисунок 4 – Зависимость ускорение втулки от времени

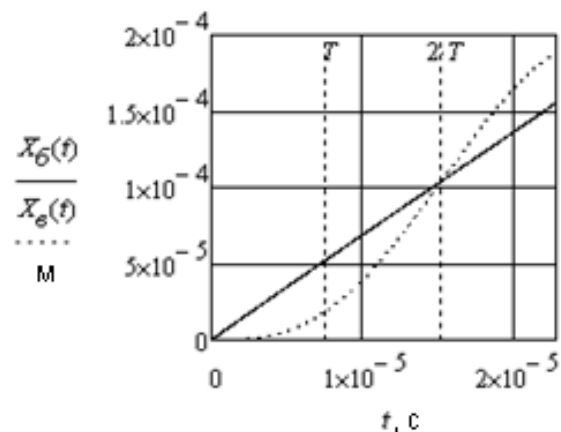


Рисунок 5 - Пройденный путь бойка и втулки от времени

Так как материал соударяющихся деталей работает в области упругих деформаций (это необходимое условие), то в соответствии с законом Гука имеем

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{\Delta l_{\max}}{l} E.$$

Подставляя значение максимальной деформации сжатия втулки получим

$$\sigma = \frac{33,68 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-3}} \cdot 7 \cdot 10^9 = 343,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Полученные значения напряжений меньше, чем допускаемые напряжения на сжатие материала втулки из алюминиевых сплавов марки «В95».

Кроме этого существует два опасных сечения *В-Г* и *Г-Б* (см. рис.1), где при максимальном ускорении втулки может произойти разрушение втулки под действием силы инерции цилиндра *ВАЗЖ* (см. рис.1) гильзы втулки. Масса цилиндра *ВАЗЖ* равна

$$\pi(R_1^2 - R^2) \cdot H \cdot \rho = 3,14[(0,8)^2 - (0,65)^2] \cdot 6 \cdot 2,85 \text{ г/см}^3 = 11,68 \text{ г} = 0,0017 \text{ кг}.$$

Напряжения, создаваемые силой инерции равны

$$\sigma = \frac{Fin}{S},$$

где S – площадь среза втулки в сечении *В-Г*.

Берем максимальное ускорение w_{max} из формулы (11) - рисунок 5.

Для сечения *В-Г*

$$\tau = \frac{Fin}{S_{В-Г}} = \frac{m_{ВАЗЖ} \cdot w_{max}}{2\pi R \cdot l} = \frac{0,0117 \cdot 1,43 \cdot 10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 597,196 \text{ кгс/см}^2,$$

что меньше допускаемого напряжения на срез для данного алюминиевого сплава «В95».

Для сечения *Б-Г*

$$\begin{aligned} \sigma_{растяжения} &= \frac{m_{БГЖЗ} \cdot w_{max}}{S_{Б-Б}} = \frac{0,0103 \cdot 1,43 \cdot 10^6}{(R_1^2 - R^2)\pi} = \frac{103 \cdot 1,43 \cdot 10^2}{68 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 2,197 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2 = 219,7 \text{ кг/см}^2, \end{aligned}$$

что меньше допускаемого напряжения на растяжение для данного алюминиевого сплава «В95».

Анализируя графики движения запорной втулки и бойка (рисунки 3, 5) очевидно, что в момент времени, когда пути, пройденные запорной втулкой и бойком, сравняются, скорость запорной втулки будет равна 13,76 м/с, а скорость бойка 6,76 м/с, при этом деформация запорной втулки будет равна 0 (рис. 2). Это значит, что процесс соударения двух деталей завершился и втулка, оттал-

квиваемая силой упругости, отделяется от бойка со скоростью 13,76 м/с, а скорость бойка падает до 6,76 м/с за счет передачи части своей кинетической энергии запорной втулке. Далее боек и втулка продолжают двигаться с постоянной скоростью, если не учитывать трение с другими деталями и сопротивление среды. В момент времени T (см.рис. 3) скорости втулки и бойка не совпадают из-за различной шкалы каждого графика (сделано для наглядности графиков), тогда как в действительности они одинаковые.

Приведенный в данной статье метод определения параметров движения сталкивающихся тел позволяет достаточно точно установить, как их скорости после столкновения, так и максимальные величины деформаций в соударяющихся деталях. Данная методика расчета соударяющихся тел, взаимодействие которых происходит в области упругих деформаций по закону Гука, позволяет рассчитать геометрические размеры соударяющихся деталей при проектировании машин и механизмов ударного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлёв, В. Ф. Основы теоретической механики: Учебник. 3-е изд. / В. Ф. Журавлёв - М.: Физматлит, 2008. – 304 с.
2. Гольдсмит, В. Удар: Теория и физические свойства соударяемых тел / В. Гольдсмит. - М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 448 с.
3. Писаренко, Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. – К.: Вища школа, 2004. – 655 с.
4. Кильчевский, Н.А. Теория соударений твердых тел / Н.А. Кильчевский. – К.: Наукова думка, 1969. – 248 с.
5. Васильев, Л.М. Гидравлическое торможение клапана гидроударника после отрыва от бойка Л.М. Васильев, С.В. Демченко, В.Е. Антончик // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2004. -Вып.48. - С. 244 – 250.

REFERENCES

1. Zhuravlyev, V. F. (2008), *Osnovy teoreticheskoy mekhaniki* [Basics of theoretical mechanics], Fizmatlit, Moscow, Russia.
2. Goldsmit, V. (1965), *Udar: Teoriya i fizicheskie svoystva soudaryaemykh tel* [Strike: Theory and physical properties of the colliding bodies], Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, Moscow, USSR.
3. Pisarenko, G.S., Kvitka, O.L. and Umanskiy E.S. (2004), *Opir materialiv* [Strength of materials], Vyshcha shkola, Kiev, Ukraine.
4. Kilchevskiy, N.A. (1969), *Teoriya soudareniy tverdykh tel* [The theory of the collision of solids], Naukova dumka, Kiev, USSR.
5. Vasilyev, L.M., Demchenko, S.V. and Antonchik, V.Ye. (2004), “Hydraulic Bracing if the Hydraulic Hammer Valve After Branch it Form the Brisk”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 48, pp. 244-250.

Об авторах

Антончик Владимир Евгеньевич, магистр, главный конструктор отдела Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, dneprovec78@bigmir.net.

Пазынич Артём Вячеславович, магистр, инженер отдела Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, dneprovec78@bigmir.net.

Демченко Сергей Вячеславович, магистр, младший научный сотрудник в отделе Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, demchik@bk.ru.

Минеев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Системного анализа и управления, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, skullik@i.ua.

About the authors

Antonchik Vladimir Yevgenievich, Master of Science (M.S.), Chief Designer in Department of Rock Breaking Problems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, dneprovec78@bigmir.net.

Pazynich Artem Vyacheslavovich, Master of Science (M.S.), Engineer in Department of Rock Breaking Problems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, dneprovec78@bigmir.net.

Demchenko Sergey Vyacheslavovich, Master of Science (M.S.), Junior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, demchik@bk.ru.

Mineev Aleksandr Sergeevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associated Professor of System Analyzes and Management Department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, skullik@i.ua.

Анотація. Розробка і проектування машин ударної дії вимагає точного розрахунку рухомих деталей, таких як: елементи клапанів, запірні втулки, бойки тощо. Існуючі методики розрахунку не дозволяють вирішити задачу зіткнення деталей машин в потрібному обсязі.

У даній статті наведено рішення завдання зіткнення тіл, в якому рівняння динаміки руху тіл і рівняння пройдених ними шляхів з урахуванням деформації зіткнення деталей утворюють систему рівнянь. Рішення даної системи рівнянь дозволяє визначити не тільки діючі сили швидкості і прискорення тіл, але і час взаємодії тіл зіткнення, і величину їх деформації.

Цей метод визначення параметрів зіткнення тіл може бути використаний для широкого кола завдань, де взаємодія тіл відбувається в області пружних деформацій.

Ключові слова: засувна втулка, шток бойка, занурювальний пневмударник, рівняння руху, деталі що зіткнулись.

Abstract. Development and design of percussion machines require precise calculation of their moving parts, such as: elements of valves, locking sleeve, strikers, etc. Existing methods of calculation cannot fully solve a problem of the machine colliding parts.

This article provides a solution of the problem of colliding bodies, in which equations of the body motion dynamics and equations of distance passed by the bodies form a system of equations with taking into account deformation of the colliding parts. Solving of this system of equations makes possible to determine not only current forces of the body speed and acceleration, but also duration of interaction between the colliding bodies and rate of their deformation.

This method of determining parameters for the colliding bodies can be used for a wide range of applications where interaction between the bodies occurs in areas with elastic deformation.

Keywords: locking sleeve, striker rod, downhole hammer, motion equation, colliding parts.

Стаття поступила в редакцію 06.12.2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Васильевым Л.М.