
МЕХАНИКА МАШИН

УДК 539.3:621.891

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
КОНТАКТА ПРОФИЛИРОВАННОГО РОЛИКА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ
ВХОДНОЙ ГРАНИЦЫ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ**

© 2021 г. М. Я. Пановко

*Институт машиноведения им. А.А. Благодирова РАН, Москва, Россия**e-mail: mpanovko@yandex.ru*

Поступила в редакцию 12.07.2020 г.

После доработки 23.03.2021 г.

Принята к публикации 26.04.2021 г.

Решается пространственная задача об упругогидродинамической смазке профилированного ролика с учетом сложной геометрии входной границы смазочной пленки. Данной постановкой моделируются условия обильной или недостаточной смазки, в которых могут находиться узлы трения, например, такие, как зубчатые передачи и роликовые подшипники качения. Система интегродифференциальных уравнений с граничными условиями и неравенствами, описывающая упругогидродинамический контакт, решалась итерациями на основе метода Ньютона. Полученные результаты демонстрируют значительное влияние геометрии входной границы на распределения давления и толщины смазочной пленки в зоне контакта. Показано, что там, где участки входной границы вдвинуты в зону контакта, возникают в направлении потока смазки зоны с меньшими значениями давления и толщины смазочной пленки по сравнению со случаем обильной смазки.

Ключевые слова: упругогидродинамический контакт, ролик, профилирование, входная граница, численное моделирование

DOI: 10.31857/S0235711921040106

При численном анализе процессов в упругогидродинамическом (УГД) контакте входная граница смазочной пленки обычно задается на значительном расстоянии от центра контакта. Полагается, что при таком расположении входной границы контактирующие поверхности находятся в условиях обильной смазки. Для случая обильной смазки численными методами исследовались линейные (неограниченные по длине) и точечные смазанные контакты [1]. Однако в реальных узлах трения возможны ситуации (например, масляное голодание, нестабильный режим смазывания), при которых входная граница смазочной пленки (входной мениск) приближается к центру контакта.

Экспериментами показано, что толщина смазочной пленки в случае масляного голодания уменьшается и даже может достигнуть нуля в некоторых участках области контакта [2]. В численных исследованиях явление масляного голодания моделируется приближением входной границы смазочной пленки к центру контакта. Влияние геометрии и расположения входного мениска на параметры точечного УГД-контакта изучалось в работах [3–5]. Было показано, что недостаточная смазка приводит к уменьшению толщины смазочной пленки по сравнению со случаем обильной смазки. В работах [6–8] приводятся результаты решения задачи об УГД-контакте профилированного ролика для условий обильной смазки. Для моделирования режима обильной смазки входная граница смазочной пленки на расчетной сетке задавалась в виде прямой ли-

нии, которая параллельна центральной линии контакта ролика и расположена вдали от нее. Центральной линией контакта в этих задачах является совпадающий с осью координат отрезок прямой линии, по которому контактируют до начала деформации короткие несмазанные ролики. Начало координат принимается в качестве центра контакта. Численное решение задачи об УГД-контакте профилированного ролика с учетом сложной геометрии входной границы смазочной пленки получено в [9]. Входная граница составлялась из участков, которые находились как вдали от центральной линии контакта (оси координат), так и вблизи нее. Заданием сложной геометрии входной границы моделировались условия недостаточной смазки. Полагалось, что центральная часть ролика располагалась в зоне обильной смазки, при этом соответствующий прямолинейный участок входной границы задавался на удалении от центральной линии контакта. Из результатов работы [9] следовало, что толщина смазочной пленки в центре контакта (в начале координат) практически равна толщине смазочной пленки в режиме обильной смазки ролика, когда входная граница представляла собой прямую линию вдали от центральной линии контакта. Толщина смазочной пленки в центре контакта является одним из параметров, характеризующих УГД-контакт. Значения этого параметра могут изменяться в зависимости от реальных условий функционирования УГД-контакта. В связи с этим представляет интерес проведение численного эксперимента с целью определения параметров УГД-контакта для различных конфигураций входной границы смазочной пленки.

В настоящей статье на основе методики [9] проведено численное моделирование УГД-контакта профилированного ролика с целью определения влияния на его параметры, в частности, на толщину смазочной пленки в центре контакта для случаев, когда геометрия входной границы отличается от геометрии границы, заданной в [9].

Постановка задачи. Рассматривается стационарная изотермическая задача о смазке ролика со скругленным краем (рис. 1) [9] в условиях сложной геометрии входной границы, следуя постановке задачи, представленной в [9].

Полагается: смазочный материал – несжимаемая ньютоновская вязкая жидкость, толщина смазочной пленки мала по сравнению с характерными размерами области контакта, силы вязкого трения значительно больше инерционных сил, локально контактирующие тела заменяются упругими полупространствами. К ролику приложена сила $P = \pi a_H p_H l_c / 2$, равная силе на участке l_c бесконечно длинного цилиндра (a_H, p_H – соответственно полуширина и максимальное герцевское напряжение в линейном контакте). Зависимость вязкости смазки μ от давления p задана в виде $\mu = \mu_0 \exp(Q_0 p)$, где μ_0 – вязкость при давлении окружающей среды, Q_0 – пьезокоэффициент вязкости. На рис. 1 h_0 – расстояние между смазанными поверхностями в начале декартовой системы координат $0xyz$; $R_x(y)$ – радиус кривизны ролика, $R_{x0} = R_x(0)$; R_{y0} и R_{y1} – радиусы кривизны дуг образующей ролика; $y = l_c / 2$ – сечение, в котором сопрягаются дуги образующей; $\mathbf{v}_1(v_{1x}, v_{1y})$ и $\mathbf{v}_2(v_{2x}, v_{2y})$ – скорости контактирующих поверхностей.

Математическая модель УГД-контакта представляет собой систему интегродифференциальных уравнений с граничными условиями и неравенствами. В безразмерной форме система имеет вид [9]

$$L(p; H_0) = \nabla \left(H_0^2 \frac{h^3}{\mu} \nabla p - V \mathbf{v} h \right) = 0, \tag{1}$$

$$h(x, y) = 1 + \frac{x^2 + \varepsilon_0 y^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_0) f_1(|y|) \theta(|y|)}{H_0} + \frac{1}{\pi H_0} \iint_{(S)} G(x, y, \xi, \eta) p(\xi, \eta) d\xi d\eta, \tag{2}$$

$$M(p) = \iint_{(S)} p(\xi, \eta) d\xi d\eta - \frac{\pi}{2} l_c = 0, \tag{3}$$

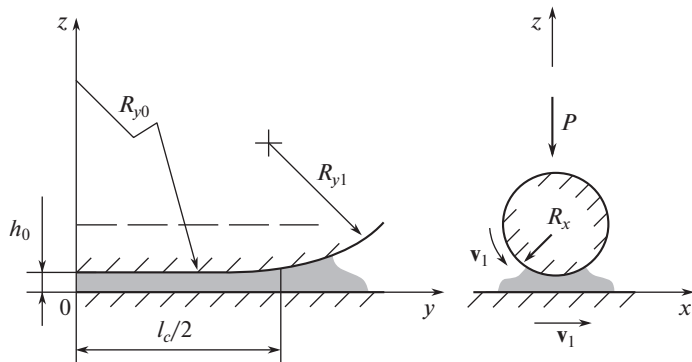


Рис. 1. Схема смазанного контакта [9].

$$p|_C = \frac{\partial p}{\partial m_{C_e}} = 0, \quad (4)$$

$$L(p; H_0) = 0, \quad p > 0 \text{ в зоне смазки;}$$

$$L(p; H_0) < 0, \quad p = 0 \text{ в зоне кавитации,} \quad (5)$$

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right), \quad \mathbf{v} = (v_x, v_y), \quad \mu = \mu(p),$$

$$G(x, y, \xi, \eta) = \frac{1}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}} - \frac{1}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}},$$

$$\theta(|y|) = \begin{cases} 1, & \text{при } |y| > l_c/2 \\ 0, & \text{при } |y| \leq l_c/2 \end{cases}.$$

В уравнении (2) $f_1(|y|) = (|y| - l_c/2)^2$ при гладком сопряжении дуг R_{y0} и R_{y1} , при негладком $f_1(|y|) = y^2 - (l_c/2)^2$. Неравенства (5) – условия дополненности [10–12] – используются для определения местоположения выходной границы C_e области контакта S в процессе решения задачи. Граничные условия для давления ставятся на заданной входной границе C_i и на неизвестной границе выхода C_e , $C = C_i \cup C_e$. Выходная граница C_e отделяет зону смазки, где $p > 0$, от кавитационной, где полагается $p = 0$. Система (1)–(5) получена путем применения безразмерных переменных [9]

$$(x', y', \xi', \eta') = (x, y, \xi, \eta)/a_H, \quad p' = p/p_H, \quad h' = h/h_0,$$

$$\mu' = \mu/\mu_0, \quad H_0 = 2h_0R_{x0}/a_H^2,$$

$$V = (24\mu_0|\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2|R_{x0}^2)/p_H a_H^3, \quad P' = P/p_H a_H^2, \quad P = \pi p_H a_H l_c/2,$$

$$\mathbf{v} = (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2)/|\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2|, \quad \varepsilon_0 = R_{x0}/R_{y0}, \quad \varepsilon_1 = R_{x0}/R_{y1}, \quad Q'_0 = Q_0 p_H.$$

Здесь $p(x, y)$ и $h(x, y)$ – давление и толщина смазочной пленки в зоне УГД-контакта; H_0 – безразмерная толщина пленки в центре контакта; ε_0 и ε_1 – параметры скругления; V – нагрузочно-скоростной параметр.

Численный метод. Численное моделирование УГД-контакта проводилось по методике [9], согласно которой для построения численного решения системы (1)–(5) ис-

пользовались итерационная процедура на основе метода Ньютона, а также представление уравнения Рейнольдса (1) в интегральной форме

$$L_1(p; H_0) = \int_{(l_{ij})} \left[H_0^2 \frac{h^3}{\mu} (\nabla p \cdot \mathbf{n}) - V(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})h \right] dl = 0. \quad (6)$$

Соотношение (6) записано для ячейки декартовой сетки в расчетной области (задается в виде прямоугольника), где (i, j) – узел сетки; l_{ij} – контур ячейки. Итерационная процедура согласно методу Ньютона записывается в виде

$$\frac{\partial L_1(p; H_0)}{\partial p} \Big|_k \Delta p_{k+1} + \frac{\partial L_1(p; H_0)}{\partial H_0} \Big|_k \Delta H_{0,k+1} = -L_1(p; H_0) \Big|_k, \quad (7)$$

$$\frac{\partial M(p)}{\partial p} \Big|_k \Delta p_{k+1} = -M(p) \Big|_k, \quad (8)$$

$$\Delta p_{k+1} \Big|_C = 0, \quad (9)$$

$$\Delta p_{k+1} = p_{k+1} - p_k, \quad \Delta H_{0,k+1} = H_{0,k+1} - H_{0,k}.$$

Здесь уравнения (3), (4), (6) линеаризуются около решения $(p(x, y), H_0)_k$, где k – номер итерации. Система (7)–(8) является исходной для вывода системы разностных уравнений, решаемых относительно приращений $\Delta p_{k+1}, \Delta H_{0,k+1}$

$$\begin{vmatrix} (a_{qr})_{nn} & (b_q)_n \\ (c_r)_n & 0 \end{vmatrix} \Big|_k \begin{vmatrix} (\Delta p_r)_n \\ \Delta H_0 \end{vmatrix} \Big|_{k+1} = - \begin{vmatrix} (L_1(p_r; H_0))_n \\ M(p_r) \end{vmatrix} \Big|_k.$$

Здесь $(a_{qr})_{nn}, (b_q)_n, (c_r)_n$ – элементы матрицы порядка $(n + 1)$; n – число узлов области контакта, где $p > 0$, $(q, r = 1, \dots, n)$. Сингулярный интеграл в (2) вычислялся по кубатурной формуле [13].

Результаты расчетов. В расчетах использовались те же условия численного моделирования, что и в работе [9]. Однако конфигурация входной границы и ее расположение в области контакта задавались иными. Конфигурация границы представляла собой чередование прямолинейных и криволинейных участков, которые моделировали режим недостаточной смазки УГД-контакта. Прямолинейные участки располагались вдали от центральной линии контакта (оси y). Криволинейные участки определяли области контакта без смазки вблизи оси y . В этих областях давление $p = 0$. В настоящей статье расчеты проводились для двух вариантов геометрии входной границы. Основное различие между ними заключалось в расположении областей без смазки относительно плоскости симметрии ролика $y = 0$. Рассматривались следующие случаи: плоскость симметрии ролика $y = 0$ проходит через область без смазки, область без смазки расположена вдали от плоскости $y = 0$.

Расчеты проводились для симметричного относительно плоскости $y = 0$ цилиндрического ролика со скругленным торцом на декартовой сетке в плоскости (x, y) с числом узлов 34×84 при следующих параметрах: $V = 0.1, Q_0 = 3, v_x = 1, v_y = 0, \epsilon_0 = 0, \epsilon_1 = 0.1$. При $y = l_c/2 = 20$ прямолинейная часть образующей цилиндрического ролика сопрягается гладким образом со скругленной частью. В расчетах [9] для ролика при обильной смазке значение безразмерной толщины смазочной пленки $H_0 = 0.1692$.

На рис. 2–4 представлены результаты решения УГД-задачи в случаях обильной и недостаточной смазки.

Распределения давления и толщины смазочной пленки (зазор) показаны в виде поверхностей на рис. 2 и изолиний на рис. 3, а также на рис. 4 в виде распределений $p(x), h(x)$ в сечении $y = \text{const}$, где $y < l_c/2$, и $p(y), h(y)$ в сечении $x = 0$. Распределения давления и зазора на рис. 4а, б получены из расчета, когда плоскость симметрии $y = 0$ проходила через область без смазки. На рис. 4в, г распределения давления и зазора получены из расчета, когда область без смазки находилась вдали от плоскости симметрии

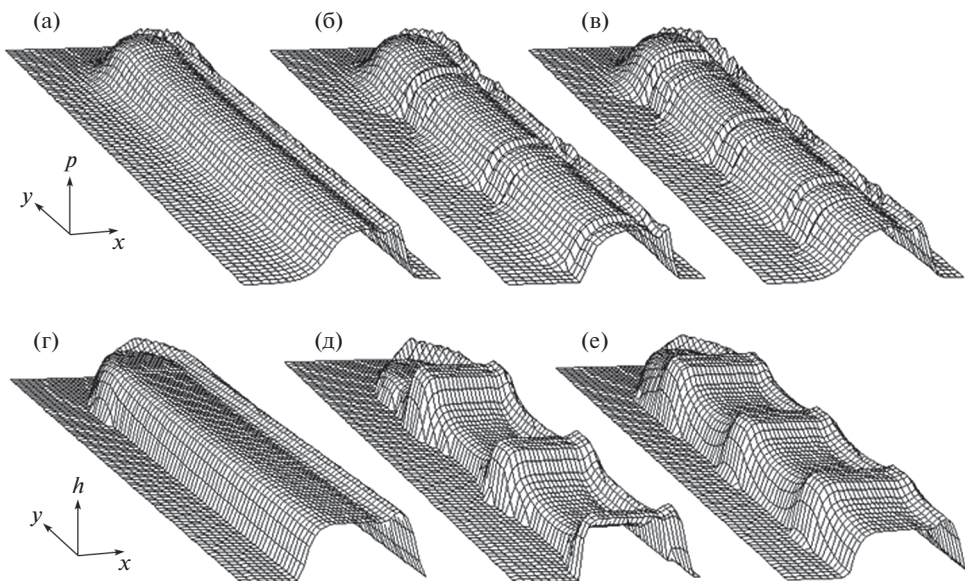


Рис. 2. Распределения давления (а), (б), (в) и толщины смазочной пленки (г), (д), (е) в УГД-контакте: (а), (г) – обильная смазка; (б), (д) (в), (е) – недостаточная смазка [9].

$y = 0$. Из решения УГД-задачи при условии, что плоскость симметрии $y = 0$ проходит через область без смазки (рис. 2б, д, рис. 3б, д), следует, что безразмерная толщина пленки в центре контакта $H_0 = 0.09819$.

При сдвиге области без смазки в направлении оси y на заданное расстояние от плоскости симметрии $y = 0$ (рис. 2в, е; рис. 3в, е) безразмерная толщина пленки в центре контакта $H_0 = 0.1683$. При увеличении этого расстояния H_0 приближается к значению $H_0 = 0.1692$ для режима обильной смазки. В расчетах работы [9] $H_0 = 0.1689$ при расстоянии вдвое большем. На рис. 2а, г; рис. 3а, г [9] представлены характерные особенности распределений давления и толщины смазочной пленки в тяжело нагруженных сосредоточенных УГД-контактах в режиме обильной смазки: пик давления и сужение зазора в окрестности выходной границы смазочной пленки, уплощение зазора в центральной области контакта. Отмеченные особенности наблюдаются в областях контактной зоны с прямолинейными участками входной границы в случае режимов недостаточной смазки. Это видно на рис. 2б, д, в, е и рис. 3б, д, в, е. На этих рисунках прямолинейные участки входной границы совпадают с входной границей в случае режима обильной смазки. Расположение выходной границы $x_c(y)$, отделяющей область смазки ($p > 0$) от области кавитации ($p = 0$), отчетливо видно на рис. 3а, б, в, где область кавитации выделена светло-серым тоном. Области без смазки ($p = 0$), у которых входная граница расположена вблизи центральной линии контакта, выделены темно-серым тоном (рис. 3б, в). На участке $y > l_c/2$ проявляется краевой эффект – рост и последующее снижение давления. Обратная картина наблюдается в распределении толщины смазочной пленки. Конфигурация выходной границы $x_c(y)$ демонстрирует увеличение ширины зоны контакта из-за увеличения давления в торцевой зоне (рис. 3а, б, в) и уменьшение ее ширины в областях контакта из-за приближения областей без смазки к оси y , отмеченных темно-серым тоном на рис. 3б, в.

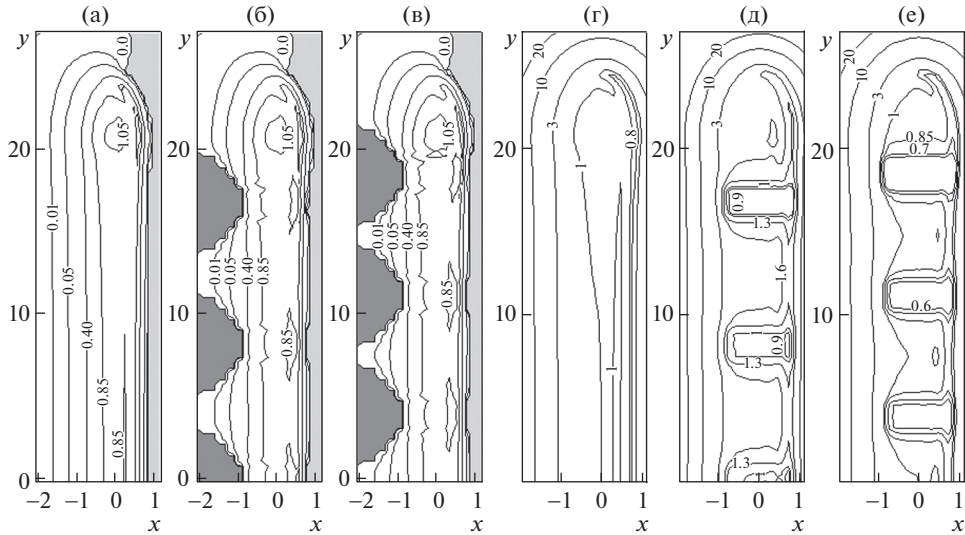


Рис. 3. Изобары (а), (б), (в) и линии уровня толщины смазочной пленки (г), (д), (е) в УГД-контакте: (а), (г) – обильная смазка; (б), (д), (в), (е) – недостаточная смазка [9].

В областях контактной зоны с криволинейными участками входной границы в распределениях $p(x)$, $h(x)$ также наблюдаются особенности, характерные для УГД-контакта в режиме обильной смазки (рис. 4а, в, кривые 2 и 4). Распределения $p(y)$, $h(y)$ в этих областях отличаются от распределений в режиме обильной смазки (рис. 4б, г, кривые 2 и 4). Области контакта без смазки, где $p = 0$, заметно изменяют общую картину распределений давления и зазора. Кроме того, из-за различного расположения входной границы относительно плоскости симметрии $y = 0$ следуют отличия соответствующих распределений $p(x, y)$ и $h(x, y)$ в окрестности плоскости симметрии $y = 0$ (рис. 2б, в и рис. 2д, е; рис. 3б, в и рис. 3д, е).

На рис. 2–4 показано, что приближение криволинейных участков входной границы к центральной линии контакта приводит к появлению в распределениях $p(x, y)$ и $h(x, y)$ зон с меньшими значениями давления (рис. 2б, в) и толщины смазочной пленки (рис. 2д, е) по сравнению со случаем обильной смазки (рис. 2а, г). Этот эффект также демонстрируют картины изолиний функций $p(x, y)$ и $h(x, y)$ на рис. 3б, в, д, е, на которых видно, как криволинейные участки входной границы изменяют монотонный характер изолиний, представленных на рис. 3а, г. Распределения $p(x)$, $h(x)$ в сечении $y = \text{const}$ (рис. 4а, в, кривые 2 и 4) и $p(y)$, $h(y)$ в сечении $x = 0$ (рис. 4б, г, кривые 2 и 4) показывают, что в зонах контакта с недостаточной смазкой снижается давление, при этом зазор уменьшается практически в два раза по сравнению с режимом обильной смазки.

При сопоставлении численных значений толщины пленки в режимах обильной и недостаточной смазки (рис. 4, кривые 3 и 4) учитывалось, что эти распределения в расчетах нормированы на разные размерные значения толщины пленки в начале координат (в центре контакта) h_0 , т.е. в условиях обильной смазки $h_1' = h_1/h_{01}$, где $h_{01} = (a_H)^2 H_{01}/2R_{x0}$, а в условиях недостаточной смазки $h_2' = h_2/h_{02}$, где $h_{02} = (a_H)^2 H_{02}/2R_{x0}$. Здесь $H_{01} = 0.1692$ – безразмерная толщина смазочной пленки в режиме обильной смазки, $H_{02} = 0.09819$ – безразмерная толщина смазочной пленки в режиме недостаточной смазки, когда по условиям численного моделирования плоскость симметрии

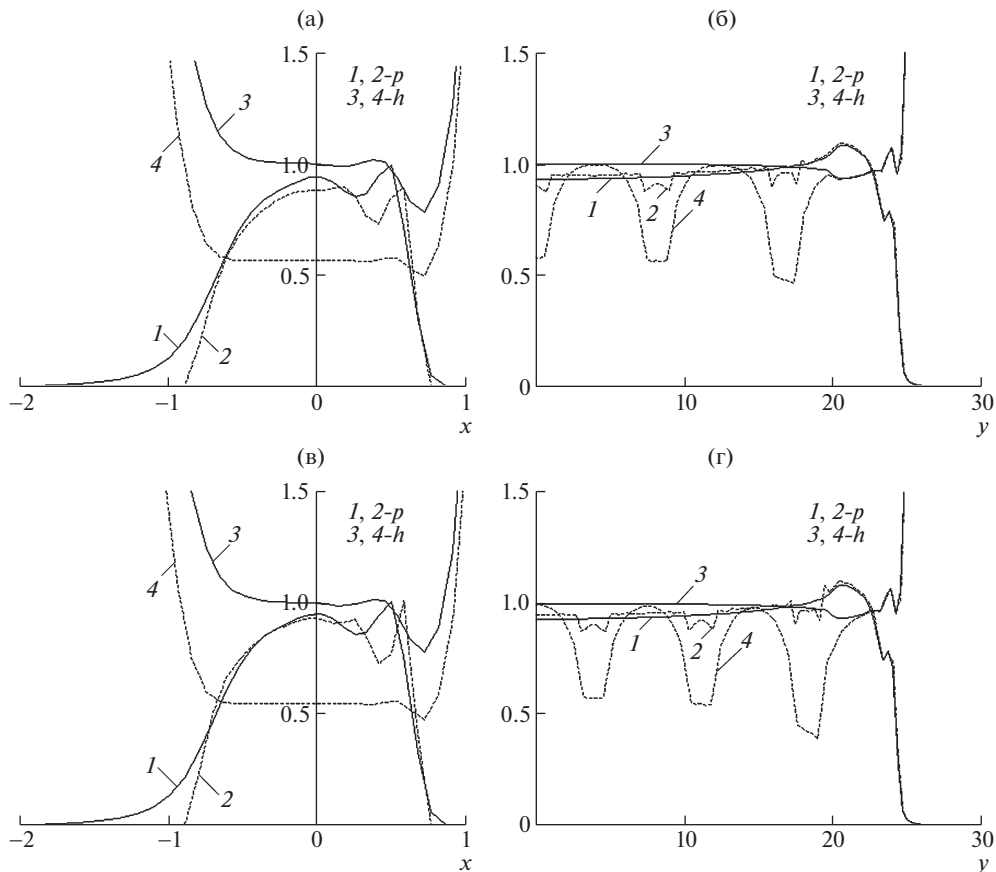


Рис. 4. Распределения давления и толщины смазочной пленки (а) в плоскости сечения $y = 9.055$, (в) в плоскости сечения $y = 11.36$; (б), (г) в плоскости сечения $x = 0$: 1, 3 – давление и зазор соответственно при обильной смазке; 2, 4 – давление и зазор соответственно при недостаточной смазке [9].

$y = 0$ проходит через зону без смазки. В случае, когда в режиме недостаточной смазки зона без смазки отодвинута от плоскости симметрии $y = 0$, $H_{02} = 0.1683$. С учетом известных значений H_{01} и H_{02} можно нормировать распределение h_2 на значение h_{01} . Для значений h_2'' , нормированных на h_{01} , получаем $h_2'' = h_2' H_{02}/H_{01}$. Данная перенормировка позволяет адекватно сравнивать распределения безразмерных толщин пленки h_1' и h_2'' . На рис. 4 (кривые 4) представлены распределения толщины пленки при режиме недостаточной смазки h_2'' , нормированные на толщину пленки в начале координат при режиме обильной смазки h_{01} . Отметим, что на рис. 3д, е значения изолиний соответствуют распределению h_2' . С учетом множителя H_{02}/H_{01} можно получить значения изолиний для h_2'' . Для режима недостаточной смазки, когда плоскость симметрии $y = 0$ проходит через зону без смазки, $H_{02}/H_{01} \cong 0.58$. В случае, когда зона без смазки отодвинута от плоскости симметрии $H_{02}/H_{01} \cong 0.995$.

Заключение. Проведено численное моделирование УГД-контакта профилированного ролика с учетом сложной геометрии входной границы смазочной пленки. Кон-

тур входной границы включал участки границы вдали от центральной линии контакта (оси y) и вблизи нее. Расчеты проводились для двух вариантов расположения входной границы. Основное различие между ними заключалось в расположении областей без смазки (здесь участок границы C_i расположен вблизи оси y) относительно плоскости симметрии ролика $y = 0$. Рассмотрены случаи, когда плоскость симметрии ролика $y = 0$ проходит через область как без смазки ($p = 0$), так и со смазкой ($p > 0$). Причем во втором случае область без смазки расположена вдали от плоскости $y = 0$. Показано, что возникновение в УГД-контакте несмазанных областей приводит к появлению в направлении потока смазки зон с меньшими значениями давления и толщины смазочной пленки по сравнению со случаем обильной смазки. Из расчетов следует, что при увеличении расстояния области контакта без смазки от плоскости симметрии ролика $y = 0$ значения безразмерной толщины смазочной пленки H_0 приближаются к ее значениям в режиме обильной смазки. С уменьшением этого расстояния наблюдается обратный эффект. Так, например, $H_{02}/H_{01} \cong 0.58$, где H_{02} – значение H_0 для случая, когда плоскость симметрии ролика $y = 0$ проходит через зону контакта без смазки ($p = 0$), H_{01} – значение H_0 в случае обильной смазки ($p > 0$). Полученные распределения давления и толщины смазочной пленки могут использоваться для расчетного анализа трения в контакте и поля тензора напряжений в подповерхностном слое. Обобщение изложенного вычислительного алгоритма позволяет рассмотреть ряд важных задач, а именно: о нестационарных режимах, теплообмене в контакте, шероховатости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dowson D., Ehret P.* Past, present and future studies in elastohydrodynamics // Proc. Instn. Mech. Engrs. Part J: J. Engineering Tribol. 1999. V. 213. № J5. P. 317.
2. *Wedeven L.D., Evans D., Cameron A.* Optical analysis of ball bearing starvation // Trans. ASME. J. Lubric. Technol. 1971. V. 93. № 3. P. 349.
3. *Hamrock B.J., Dowson D.* Isothermal elastohydrodynamic lubrication of point contacts. Part 4 – starvation results // Trans. ASME. J. Lubric. Technol. 1977. V. 99. № 1. P. 15.
4. *Kudish I.I., Panovko M.Ya.* Influence of an inlet oil meniscus geometry on parameters of a point elastohydrodynamic contact // Trans. ASME. J. Tribology. 1997. V. 119. № 1. P. 112.
5. *Venner C.H., Lubrecht A.A.* Multigrid techniques: a fast and efficient method for the numerical simulation of elastohydrodynamically lubricated point contact problems // Proc. Instn. Mech. Engrs. Part J: J. Engineering Tribol. 2000. V. 214. № J. P. 43.
6. *Mostofi A., Gohar R.* Elastohydrodynamic lubrication of finite line contacts // Trans. ASME. J. Lubric. Technol. 1983. V. 105. № 4. P. 82.
7. *Park T.J., Kim K.W.* Elastohydrodynamic lubrication of a finite line contact // Wear. 1998. V. 223. № 1. P. 102.
8. *Пановко М.Я.* Упругогидродинамическая смазка цилиндрического ролика со скругленным краем // Изв. АН. Механика твердого тела. 2003. № 2. С. 40.
9. *Пановко М.Я.* Влияние геометрии входной границы смазочной пленки на напряженное состояние в подповерхностном слое упругогидродинамического контакта профилированно-го ролика // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 1. С. 141.
10. *Kostreva M.M.* Elasto-hydrodynamic lubrication: a nonlinear complementarity problem // Intern. J. Numer. Methods in Fluids. 1984. V. 4. № 4. P. 377.
11. *Oh K.P.* The numerical solution of dynamically loaded elastohydrodynamic contact as a nonlinear complementarity problem // Trans. ASME. J. Tribol. 1984. V. 106. № 1. P. 88.
12. *Oh K.P., Li C.H., Goenka P.K.* Elastohydrodynamic lubrication of piston skirts // Trans. ASME. J. Tribol. 1984. V. 109. № 2. P. 356.
13. *Белоцерковский С.М., Лифанов И.К.* Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях и их применение в аэродинамике, теории упругости, электродинамике. М.: Наука, 1985. 253 с.