

водити його на протязі певного часу не тільки безпосередньо при бурінні але й при спуско-підіймальних операціях.

**Список літератури:** 1. Белов В. П. Образование каверн при бурении скважин [Текст] / В. П. Белов – М.: Недра, 1970. – 150 с. 2. Калинин А. Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин / А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, Б. З. Султанов – М.: Недра, 1997. – 651 с. 3. Султанов Б. З. Работа бурильной колонны в скважине / Б. З. Султанов, Е. И. Ишемгузин, М. Х. Шаммасов и др. - Недра, 1973. – 217 с. 4. Пат. 27621 Україна, МПК 2006 E21B19/00. Пристрій для вимірювання зусиль в колоні бурильних труб / Івасів В.М., Ногай М. М., Чудик І. І, Андрусів Я. Й., Воробель Р. В., Юрич А.Р.; заявник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – заявка №200706854; заявл. 18.06.2007; Опубл. 12.11.2007. Бюл. №18. - 37с.: іл. 5. Юрич А. Р. Математичне моделювання положення безпорних компоновок низу бурильної колоні (КНБК) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А. Р. Юрич // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – №1(26). – С.40-43. 6. Моделювання компоновок низу бурильної колоні з опорно-центруючими елементами (ОЦЕ) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А. Р. Юрич, І. І. Чудик, В. В. Гриців та ін.// Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – №2(27). – С. 51-55.

*Надійшла до редколегії 11.01.2014*

УДК 622.245.3

**Пристрій для оцінювання напружено-деформованого стану компоновок низу бурильної колоні / Юрич А. Р. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. - № 7 (1050). – С.16-20. – Бібліогр.: 6 назв. ISSN 2079-5459**

В статті пропонується підхід к оцінці напружено-деформованого стану компоновок низу бурильної колоні в процесі буріння, з допомогою спеціального пристрою і корективних параметрів.

**Ключові слова:** буріння скважин, компоновка низу бурильної колоні, профіль ствола скважини.

**Tool for definition of intense-deformed state of bottom assembly/ A.R. Yurych //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 7 (1050).- P.16-20. Bibliogr.:6. ISSN 2079-5459**

This article offered an opportunity to improve designs of SCE bottom borehole by new scientific and practical decisions aimed at clarifying the conditions of their work in well with industrial data, measured in the hollows using a specially designed device

**Keywords:** drilling, the bottom hole assembly, borehole profile.

УДК 662.9

**Н. Б. СКРИПЧЕНКО**, аспірант, НТУ «ХПІ»

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ КОНТАКТЕ ТЕЛ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ БЛИЗКОЙ ФОРМЫ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК**

Для случая контакта тел с близкими радиусами кривизны предложена общая постановка контактной задачи. Осуществлена параметризация задачи относительно геометрических размеров контактирующих тел. Получены значения максимальных контактных давлений и длины полуосей контактного пятна.

**Ключевые слова:** контактное взаимодействие, метод конечных элементов, контактные площадки, контакт тел близкой формы.

**Введение.** Как известно, контактное взаимодействие – один из основных способов

© Н. Б. СКРИПЧЕНКО, 2014

передачи механического воздействия между деталями машин в процессе эксплуатации [1, 2]. Для современного машиностроения характерным является широкое применение конструкций, в которых передача требуемых сложных видов движения и значительных рабочих усилий осуществляется посредством соединения деталей с первоначально точечным контактом. Это – подшипники, зубчатые зацепления, муфты, подвижные опоры и т.п. Преимуществом такого вида контактных пар является меньшая чувствительность к погрешностям базирования контактирующих тел, а также к деформациям остальной, удаленной от зоны контактирования, части тел. Во время эксплуатации между контактирующими телами возникают значительные контактные давления, во многих случаях определяющие несущую способность машиностроительных конструкций, поэтому характер распределения контактного давления зачастую является определяющим для нагрузочной способности элементов машин.

**Анализ существующих методов.** Развитие методов решения контактных задач связано как с практическими потребностями техники, так и теоретическими разработками в области математики и математического моделирования. В последнее время значительные достижения в области исследования контактного взаимодействия также связаны с прогрессом численных методов и ростом вычислительных возможностей: с одной стороны, неизменно расширяется круг инженерных приложений, в которых востребованы знания о поведении тел, пребывающих в контакте; с другой стороны, постоянно возникают новые и находят применение известные математические и численные методы, предназначенные для анализа контакта тел с учетом большего числа физико-механических процессов, связанных с этими явлениями.

Существует огромное множество методов определения контактных давлений и контактных площадок в сопряжениях контактирующих деталей, что порождает при проектировании новых изделий проблему выбора рациональной системы анализа. Каждому из методов свойственны свои преимущества и недостатки [3].

Первый результат, относящийся к механике контактного взаимодействия деформируемых тел, принадлежит Г. Герцу [4]. Его решение справедливо только для идеально упругих тел с первоначальным точечным контактом в случае, когда размер зоны контакта мал по сравнению с размерами самих тел, а поверхностное трение отсутствует.

Впоследствии были получены аналитические решения для разных типов контакта тел разнообразной формы. Разнообразны также и использованные авторами математические методы, относящиеся к целому ряду областей математической физики и функционального анализа. Такие методы (и, в частности, метод Герца) позволяют получить быстрые и точные решения задач контактного взаимодействия. Однако их применение в инженерных приложениях в значительной степени ограничено: плохо поддаются решению аналитическими методами задачи с неизвестной границей (в особенности пространственные), а зачастую они сложны математически и не пригодны для параметрического анализа. Гораздо более универсальными и гибкими являются методы, основанные на дискретизации тел и их границ. Применительно к контактным задачам наиболее часто употребляемыми являются метод граничных элементов (МГЭ) [5] и метод конечных элементов (МКЭ) [6]. Но и они не лишены недостатков. Метод граничных элементов (МГЭ) отличается сложностью применения для тел произвольной формы и из неоднородных материалов. Метод конечных элементов (МКЭ) характеризует громоздкость модели и трудоемкость определения границ зон контакта в случае их сложной формы и малости [3]. В связи с этим в работе предложено использовать все три упомянутых метода с учетом их преимуществ и недостатков. На первых этапах проектирования нужно отдать предпочтение методу Герца. С другой стороны, модель Герца имеет существенное ограничение на применение по отношению к свойствам сопряженных поверхностей, которых в значи-

тельной степени лишена модель МГЭ. И, наконец, для достижения наибольшей точности максимально подходит МКЭ (что особенно важно на завершающих этапах проектирования сложнопрофильных тел), однако при этом требуя больших вычислительных затрат.

Кроме того, существуют также и физические факторы, влияющие на выбор того или иного метода моделирования из-за особенностей исследуемого объекта. В первую очередь это следующие особенности:

- конечность размеров контактирующих тел;
- стремление сблизить формы поверхностей контакта с целью уменьшения действующего контактного давления;
- быстрое прогрессирование площадок контакта на первых этапах роста нагружающих усилий контактирующих тел, а также естественное ограничение на их размеры при конечности площадок контакта в плане;
- наличие факторов, искажающих модель контакта гладких тел идеальной формы (погрешности изготовления, базирования, влияние НДС в удаленной от зоны контакта области тела, шероховатость, микро- и макронеровности, скругления кромок и т.п.).

В силу этих факторов существенно также учесть адекватность и применимость тех или иных математических моделей и методов.

**Методология исследований.** Как указывалось выше, наиболее употребляемыми являются модель Герца, МКЭ и МГЭ. Также часто применяются и другие аналитические модели [7]. При этом необходимо отметить следующие особенности:

- значимые ограничения для применимости модели Герца (соизмеримость площади пятна контакта с размерами поверхностей контакта, близость формы контактирующих тел, наличие шероховатости, микронеровностей и т.п.);
- ощутимые расхождения результатов, получаемых при использовании различных моделей и методов, что вызывает ситуацию противоречивости и сомнительности получаемых результатов расчетов, а, значит, и неопределенности при принятии решений на их основе.

Таким образом, можно констатировать значительную актуальность и важность в научном и практическом плане задачи создания адекватных, точных, оперативных методов анализа взаимодействия тел конечных размеров по поверхностям близкой формы.

В ходе изложения в работе предлагается новый подход к решению получаемых связанных задач анализа напряженно-деформированного состояния сложнопрофильных тел и синтеза сопряженных поверхностей с локальным контактом.

Данный подход состоит в том, что для решения задач анализа контактного взаимодействия привлекается общая локальная или вариационная постановка. Для дискретизации получаемых задач используются методы конечных элементов и граничных элементов, реализуемые как в универсальных комплексах типа ANSYS, так и в оригинальных программах [3]. Далее для определенного класса тел исследуется путем численного анализа влияние тел или иных факторов и параметров (см. выше). Это дает возможность, во-первых, строить аппроксимационные зависимости для определения контактных зон и контактных давлений, а, во-вторых, получать базовую информацию для оценки адекватности и точности результатов, получаемых с применением других моделей и методов. Следует заметить, что частично основные элементы математических моделей (Герц, МКЭ, МГЭ) для данных объектов описаны в [3]. В связи с этим в данной статье основное внимание будет уделено решению и анализу численных результатов, полученных при решении тестовых задач.

**Тестовая задача.** Решается задача о контакте плоского тела с частью параболоида. Расчетная схема модельной задачи представлена на рис. 1. Размеры тел:  $b = 0.015$  м,  $c = 0.01$  м. Радиусы кривизны:  $R_1 = 50$  м и  $R_2 = 5000$  м. Величина прижимающего усилия:

$F = 400$  Н. Материал:  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\nu = 0.3$ . Тела – гладкие. Напряженно-деформированное состояние симметрично относительно вертикальных плоскостей. В связи с этим рассматривается 1/4 конструкции. Дискретизация задачи осуществлялась по методу конечных элементов, реализованном в программном комплексе ANSYS Workbench. Варьируемым параметром является величина размера  $a$ , которая изменялась в диапазоне  $1,5 \cdot 10^{-2}$  -  $0,5 \cdot 10^{-2}$  м.

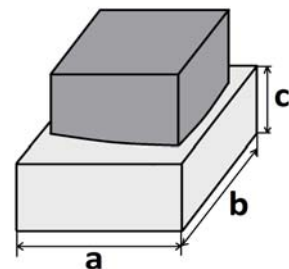


Рис. 1 – Расчетная схема модельной задачи

С использованием построенной конечно-элементной модели определялись зависимости максимальных контактных давлений  $P$  (рис. 2) и максимальных эквивалентных напряжений  $\sigma$  (рис. 3) от изменения величины стороны  $a$ .

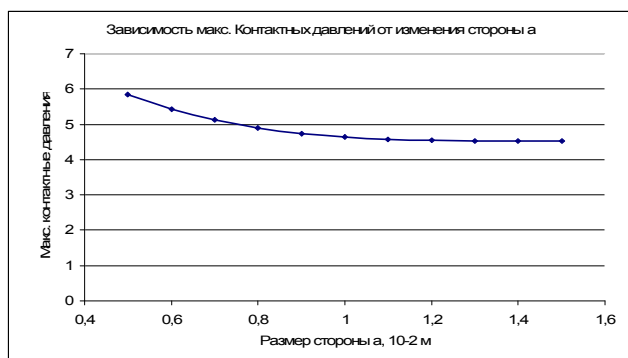


Рис. 2 – Зависимости максимальных контактных давлений  $P$  от изменения величины стороны  $a$

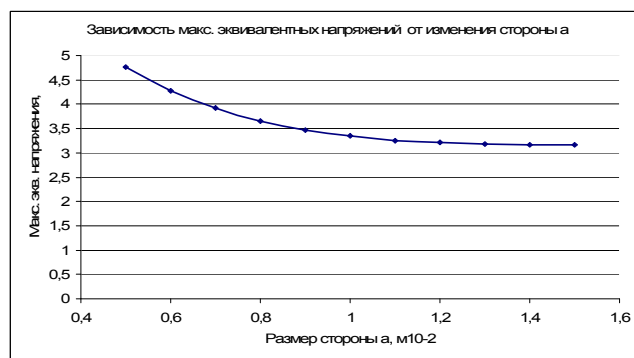


Рис. 3 – Зависимости максимальных эквивалентных напряжений  $\sigma$  от изменения величины стороны  $a$

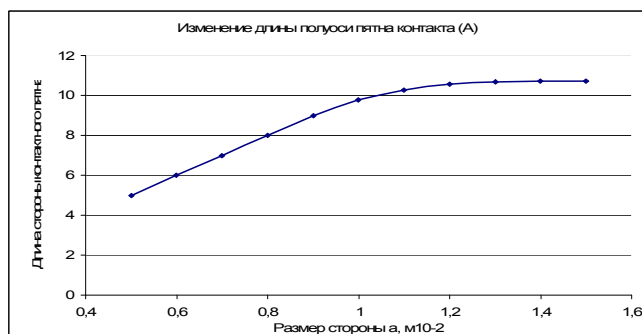


Рис. 4 – Зависимости длин сторон контактного пятна  $a'$  от изменения величины размера  $a$

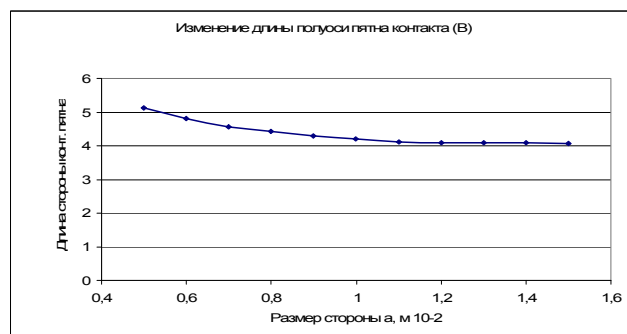


Рис. 5 – Зависимости длин сторон контактного пятна  $b'$  от изменения величины размера  $a$

Также во время проведенного исследования были получены зависимости значений длин контактного пятна  $a'$  и  $b'$  от изменения величины стороны  $a$  (рис. 4, 5). Где  $a'$  – значение длины контактного пятна, направленное вдоль варьируемого размера  $a$ ,  $b'$  – вдоль размера  $b$  соответственно (рис. 1).

На рис. 6 показаны распределения контактных зон и контактных давлений. На представленных зависимостях видно, что пока пятно контакта не достигает границ тела, с уменьшением размера контактирующих площадок – контактное давление распределяется за счет увеличения размеров самого пятна.

Однако, когда пятно контакта выходит на границы контактирующих тел, резко начинают расти контактные давления и начинает расти длина контактного пятна  $b'$ .

При этом распределение контактных давлений становятся существенно отличными от герцевских. Это подтверждают полученные эпюры распределения контактного давления, представленные на рис. 7.

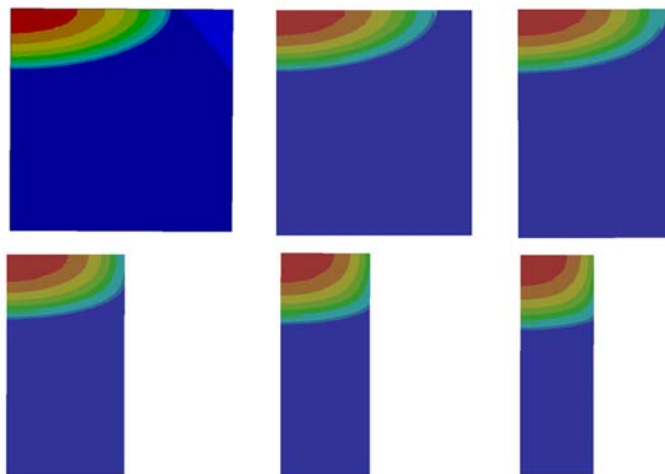


Рис. 6 – Распределения контактных зон и контактных давлений

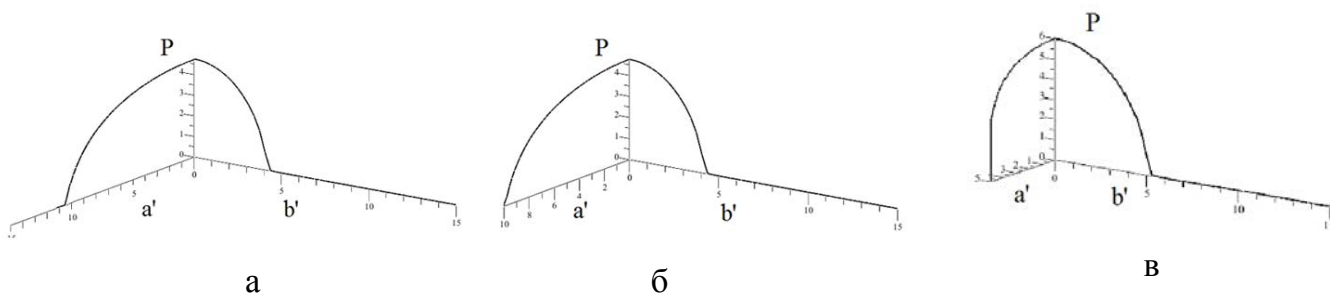


Рис. 7 – Эпюры распределения контактного давления  
(а –  $a = 1,5 \cdot 10^{-2}$ ; б –  $a = 1 \cdot 10^{-2}$ ; в –  $a = 0,5 \cdot 10^{-2}$  м)

**Выводы.** В статье описаны результаты исследования распределения контактных давлений для случая контакта тел с близкими радиусами кривизны при изменении размера тел, находящихся в контакте.

На модельных задачах проиллюстрировано, что уменьшение размера контактирующих площадок приводит к тому, что пятно контакта выходит на границы тел, а затем – начинает расти за счет увеличения длины контактного пятна  $b'$  и его распределение перестает иметь вид герцевского. В дальнейшем планируется исследование контактного взаимодействия при варьировании геометрических размеров (в плане) исследуемых тел.

**Список литературы:** 1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 509 с. 2. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 303 с. 3. Ткачук Н. Н. Анализ контактного взаимодействия сложнопрофильных элементов машиностроительных конструкций с кинематически сопряженными поверхностями: дисс. кандидата техн. наук: 05.02.09 / Ткачук Николай Николаевич. – Харьков, 2010 – 203 с. 4. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper. Math.. – 1881. – Vol. 92. – S. 156-171. 5. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир, 1987. – 328 с. 6. Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 pp. 7. Попов А. П. Контактная прочность зубчатых механизмов. – Николаев: НУК, 2008 – 580 с.

Надійшла до редколегії 22.01.2014

УДК 665.9

**Распределение контактных давлений при контакте тел конечных размеров по поверхностям близкой формы при варьировании контактных площадок/ Скрипченко Н. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2014. - № 7 (1050). – С.20-25. – Бібліогр.: 7 назв. ISSN 2079-5459**

Для випадку контакту тіл з близькими радіусами кривизни запропоновано загальну постановку контактної задачі. Здійснено параметризацію задачі відносно геометричних розмірів контактуючих тіл. Отримані значення максимальних контактних тисків та довжини напівосей контактної плями.

**Ключові слова:** контактна взаємодія, метод скінченних елементів, контактні поверхні, контакт тіл близької форми.

**The distribution of the contact pressure in contact tel finite surfaces intimate forms and varies pads / N. B. Skripchenko** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU "KhPI", 2014.-№ 7 (1050).- P.20-25. Bibliogr.:7. ISSN 2079-5459

General formulation of contact problem was proposed for the bodies with the close radius. Geometric dimensions of the contact bodies was parameterized. The maximum contact pressure and the length of the semiaxes of the contact patches were obtained.

**Keywords:** contact interaction, finite element method, the contact areas, contact of close form bodies.

## УДК 693.6.002.5

**С. В. ПОПОВ**, канд. техн. наук, доц., Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка;

**А. В. ВАСИЛЬЄВ**, канд. техн. наук, доц., Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

## МАЛОГАБАРИТНІ РОЗЧИНОЗМІШУВАЛЬНІ УСТАНОВКИ

Наведені конструктивні особливості нових розчинозмішувальних установок для приготування будівельних розчинних сумішей безпосередньо на будівельних майданчиках із сухих компонентів (цемент, пісок) та води. Це суттєво здешевлює як вартість суміші, так і виконаних робіт.

**Ключові слова:** розчинозмішувальна установка, шнековий робочий орган, гідравлічний привод, механічний привод.

**Вступ. Актуальність роботи.** Зростання продуктивності праці під час виконання опоряджувальних робіт дозволить скоротити терміни будівництва, об'єми та вартість робіт, що виконуються, а також поліпшити якість будівництва. Під час виконання опоряджувальних робіт досить широко застосовуються будівельні розчинні суміші різного складу та рухомості. Засоби малої механізації, що призначені для невеликих обсягів робіт, надають можливим приготування сумішей безпосередньо на будівельних майданчиках із значним зниженням вартості останніх у 1,5-2 рази і більше [1, 2]. На жаль, на деяких будівельних об'єктах малогабаритного будівництва ми можемо ще й досі спостерігати за приготуваннями будівельних розчинних сумішей „вручну” або із застосуванням грушоподібних гравітаційних змішувачів, що не забезпечують достатньої однорідності розподілу компонентів кінцевого продукту, а також є досить трудомістким процесом для робітника. В деяких випадках будівельну розчинну суміш підвозять на будівельний майданчик у кузові самоскида. Це призводить до її розшаровування і втрати технологічних властивостей, необхідності „підживлення” розчину.

Отже, впровадження високоефективних засобів малої механізації в будівництві суттєво зменшить частку людської праці та суттєво підвищить її ефективність.

Як зазначено вище, перспективним напрямком є розроблення та створення штукатурних агрегатів та установок із розчинонасосами для механізованого приготування і транспортування будівельних розчинних сумішей до робочих місць штукатурів. Існуючий модельний ряд засобів малої механізації є недостатньо широким на сьогоднішній час, а також існуючим моделям поруч із перевагами властиві також недоліки.

© С. В. ПОПОВ, А. В. ВАСИЛЬЄВ, 2014