

ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 620.171.5

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-40-47](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-40-47)

Конев С.В., Осипова О.А., Кенарь Е.В., Козлов Р.А.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛЯХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Поляризационно-оптический и конечно-элементный методы характеризуются визуализацией картин напряжений и деформаций во внутриконтурных точках моделей, нагруженных твердых тел. Дана сравнительная оценка этих методов. Комплексная оценка произведена сопоставлением объема теоретических знаний, необходимых для освоения методов, сложности подготовки моделей, достоверности моделирования граничных условий, а также сложности понимания закономерностей распределения напряжений и точности получаемых результатов. На примере моделирования пружинной детали верхнего строения железнодорожного пути – рельсового противоугона – наглядно показаны преимущества и недостатки оптической модели и конечно-элементной модели, построенной в Российском программном комплексе «WinMachine». Поляризационно-оптический метод может быть использован на начальном этапе моделирования для качественного анализа напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта. Метод конечных элементов позволяет получить уточненные закономерности распределения напряжений и деформаций, полученные поляризационно-оптическим методом.

Ключевые слова: поляризационно-оптический метод, метод конечных элементов, модель, сложность, точность, картины напряжений и деформаций

Известно достаточное количество методов практического определения малых упругих перемещений с последующим вычислением напряжений в упругодеформируемом твердом теле: при помощи механических и оптических тензометров [1, 2], тензометрами сопротивления [3, 4], методом муар [5, 6] и др. Но визуально наиболее наглядными и информативными являются картины напряжений, полученные поляризационно-оптическим методом [7, 8]. Поляризационно-оптический метод отличается также тем, что позволяет исследовать напряжения во внутриконтурных точках тела без нарушения его сплошности. Используемые в этом методе модели твердых тел на протяжении многих лет были практически единственным дидактическим материалом, наглядно и просто демонстрирующим картину напряжений в точках внутри тела на курсах по сопротивлению материалов, теории упругости и строительной механике (рис. 1).

Однако в последнее время активно развивается компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния твердого тела. Известно, что любое твердое тело может быть разбито на конечные элементы, подчиняющиеся законам теории упругости [9, 10]. Поэтому тело, как упругодеформируемая среда, может быть представлено в виде неразрывно связанных между собой в узловых точках упругодеформируемых элементов конечного размера. Напряженно-деформированное состояние каждого элемента определяется аппроксимирующей функцией, общей для всех элементов рассматриваемой области. Поскольку при этом не используются уравнения

равновесия точки тела и неразрывности тела в точке [11, 12], то расчет получается приближенным. Однако такая постановка задачи позволяет схематизировать расчет, используя для этого матричную форму записи уравнений теории упругости. А это, в свою очередь, позволяет использовать высокопроизводительную вычислительную технику, позволяющую добиться высокой точности приближенного расчета за счет уменьшения размера конечных элементов. При этом компьютер позволяет получить на экране монитора цветную картину рассчитанных напряжений, что ставит МКЭ на один уровень визуализации с поляризационно-оптическим методом.



Рис. 1. Картина изохром (линий $\sigma_1 - \sigma_2$) в модели диска, сжатом диаметрально приложенными силами (задача Герца)

Целью настоящей работы является сравнительная характеристика поляризационно-оптического (ПО) и конечно-элементного (КЭ) методов визуализации напряжений.

Сравнение ПО- и КЭ-методов проводится по следующим характеристикам:

1. Объем теоретических знаний для понимания основ метода.
2. Сложность изготовления моделей и область моделирования.
3. Достоверность моделирования граничных условий.
4. Сложность понимания («расшифровки») полученных картин.
5. Точность метода.

1. Объем теоретических знаний для понимания основ метода.

1.1. Поляризационно-оптический метод.

В основе ПО-метода лежат несколько физических явлений.

Эффект линейной поляризации света позволяет упорядочить колебания волн света в одной плоскости. Это достигается пропусканием луча через специальную пленку, содержащую однонаправленные близко расположенные полимерные цепи [13]. Другой вариант предусматривает пропускание луча через пленку с напыленными одноосно ориентированными мелкими кристаллами герпатита [14].

Затем используется эффект двулучепреломления. Поляризованный луч света, проходящий через плоскую прозрачную нагруженную модель, изготовленную из оптически активного материала, разделяется на два луча. При этом поляризованные волны лучей располагаются таким образом, что в их плоскостях лежат векторы главных напряжений. Кроме того, согласно основному закону фотоупругости Вертгейма [15], скорость прохождения каждого луча прямо пропорциональна модулю соответствующего главного напряжения, вследствие чего на выходе из нагруженной модели эти два луча получают разность хода Δ , пропорциональную разности главных напряжений $\sigma_1 - \sigma_2$. Таким образом, эти явления позволяют получить информацию о напряжениях в модели. Но, поскольку полученные лучи лежат в перпендикулярных плоскостях, то необходима повторная поляризация, которая позволяет получить интерференционную картину линий разности главных напряжений. Полная схема метода показана на рис. 2.

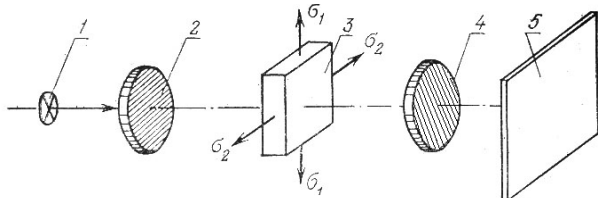


Рис. 2. Расположение элементов ПО-метода на оптической оси:

- 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – модель;
4 – поляризатор-анализатор; 5 – экран

Моделирование напряженного состояния в непрозрачных деталях посредством его изучения в прозрачных оптически активных моделях той же конфигурации возможно по следующей причине. В уравнениях теории упругости (плоская задача, уравнения (1)-(2) отсутствуют механические характеристики материала – модули упругости E, G и коэффициент Пуассона ν :

– уравнения равновесия точки тела:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

– уравнение совместности линейных и угловых деформаций:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (2)$$

То есть в прозрачной и непрозрачной моделях поля напряжений получаются подобными. Полученные в прозрачной модели величины напряжений затем пересчитываются в пропорции.

Как следует из вышеизложенного, для понимания метода достаточно знать основы физики и механики твердого тела (сопротивление материалов, теорию упругости).

1.2. Конечно-элементный метод.

В основе КЭМ лежат уравнения теории упругости, записанные в матричной форме, такие как уравнения Коши:

$$\varepsilon = Du, \quad (3)$$

где D – матрица дифференцирования,

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

u – вектор-столбец перемещений,

$$u = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

и обобщенный закон Гука

$$\sigma = A\varepsilon, \quad (6)$$

где σ – вектор-столбец напряжений;

A – матрица закона Гука,

$$A = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Помимо этого, нужно уметь составлять матрицу жесткости каждого конечного элемента и глобальную матрицу жесткости всего упругодеформируемого тела, которое образует совокупность КЭ и разрешающее (конечное) матричное уравнение. Поскольку уже при разбиении тела на три-четыре конечных элемента эта

задача предельно усложняется, а еще требуется и визуализация полученного решения, то появляется необходимость в профессиональном программировании.

Таким образом, теория метода КЭ представляет более сложной, чем теория поляризационно-оптического метода.

2. Сложность изготовления моделей и область моделирования.

Как отмечено выше, модели для поляризационно-оптического метода изготавливаются из оптически активного материала, чаще всего – из эпоксидной смолы [7, 16]. Плоская упругая задача исследуется на моделях, изготовленных из пластин с идеально равной толщиной по всему полю пластины. Технология изготовления прецизионных однородных пластин из эпоксидной смолы с хорошим светопропусканием достаточно сложна. Основная сложность заключается в высокой адгезии эпоксидной смолы к форме и токсичности качественных отвердителей, поэтому работы должны проводиться в химической лаборатории.

Последующее изготовление моделей исследуемых тел состоит в их механической обработке до требуемой конфигурации. Область моделирования преимущественно сводится к плоской задаче. Моделирование объемной задачи затруднено. Исследовать неплюскую модель, выполненную целиком из оптически активного материала невозможно, поскольку луч света проходит разное расстояние в различных частях модели. Вклейка пластины в оптически малоактивный прозрачный материал должна быть выполнена оптически неактивным однородным клеем. Следует также учитывать отражение света от неплюской поверхности модели и т.д.

Модель диска, в котором получены изохромы по рис.1, изготовленная из эпоксидной смолы Э-40, пластифицированной дибутилфталатом и отвержденной малеиновым ангидридом, показана на рис. 3.

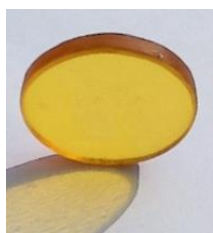


Рис. 3. Оптически активная модель диска

При исследовании пластических деформаций оптические модели нагружают при температуре размягчения, с последующим охлаждением нагруженной модели [8]. Отвержденную таким образом объемную модель можно исследовать, разрезая модель послойно на плоские темплеты с «замороженной» картиной изохром.

В свою очередь, моделирование методом КЭ требует навыков работы в соответствующих компьютерных программных комплексах, например, таких,

как отечественные ПК КОМПАС, ПК Studio и ПК Structure-3D [17 – 19].

Очевидная сложность цифрового метода проявляется при исследовании нелинейных, например пластических, деформаций. Программные комплексы МКЭ при повышенных деформациях модели требуют тщательного подбора шагов (разбиений) нагружения, а также задания оптимальной величины сходимости при выполнении итераций. Эти параметры варьируются как для оптимизации времени решения, так и для недопущения чрезмерного искажения модуля Якобиана [20, 21], используемого при решении систем линейных дифференциальных уравнений (СЛУ), в том числе уравнений механики твердого тела. Увеличение количества шагов и подшагов многократно увеличивает время решения задачи и совершенно не гарантирует преждевременной остановки программы - «решателя» СЛУ.

Распространенность компьютерной техники и компьютерная грамотность делает КЭ-метод более доступным по сравнению с ПО-методом.

3. Достоверность моделирования граничных условий.

Изготовленная из оптически активного материала модель обладает реальным объемом, массой и контактными поверхностями. Поэтому необходимые граничные условия (закрепление на опорах, активные силовые факторы) выполняются автоматически и проверяются инструментально. В связи с этим соответствие модели реальному объекту преимущественно определяется практическими навыками исследователя при работе с лабораторным оборудованием и инструментами.

При компьютерном моделировании методом КЭ «изготовление» модели и задание граничных условий осуществляется виртуально. Это обстоятельство, помимо отличного понимания моделируемой задачи, требует понимания особенностей работы компьютерной программы (математической модели, заложенной в «решатель систем линейных уравнений»). В качестве примера рассмотрим моделирование определения механических характеристик образца по ГОСТ 25.503-97 [22]. Согласно ГОСТ, образец симметрично сжимается между двумя траверсами пресса.

При ПО-моделировании контурные условия (условие неподвижности сжимаемого образца после приложения нагрузки и условия контакта поверхности образца с поверхностью опор, сжимающих образец) понимаются и выполняются автоматически.

При выполнении компьютерного моделирования можно предположить, что, поскольку при приложении одинакового давления на противоположных торцах виртуальная модель будет уравновешена (рис. 4), то это позволит программе выполнить расчет ее напряженно-деформированного состояния. Но это не так. Программа не произведет расчет, посчитав, что модель не закреплена.

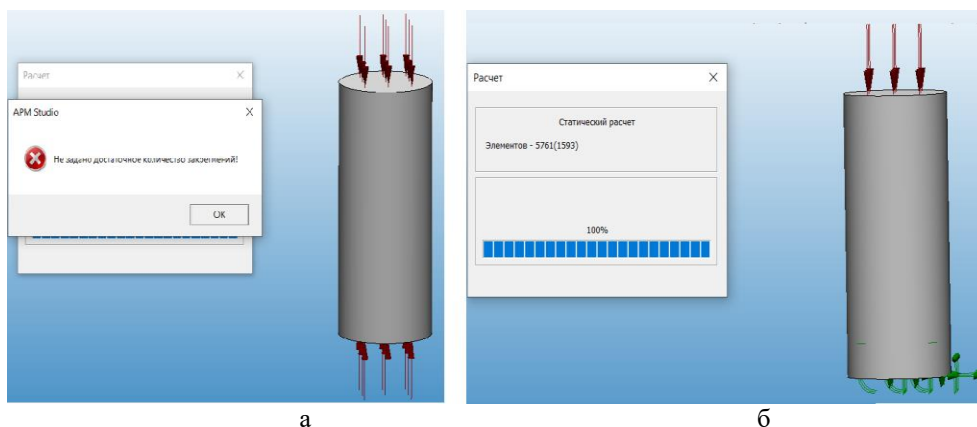


Рис. 4. Нагружение образца в ПК Studio:

а – для решения недостаточно закреплений;

б – решение выполняется при отсутствии перемещений точек торца модели

Несмотря на то, что сумма приложенных к модели сил равна нулю, для программы это означает, что модель, как вариант, имеет возможность двигаться в пространстве с постоянной скоростью. Программа Studio выдает сообщение «Не задано достаточное количество закреплений». Таким образом, при компьютерном решении этой простой задачи возникает проблема создания соответствующего закрепления образца. Проблема усугубляется тем, что, согласно ГОСТ 25.503-97, при определении модуля упругости и предела текучести необходимо обеспечить отсутствие смазки на контактных поверхностях образца. То есть в компьютерной модели требуется обосновать и задать особый закон распределения сил трения по торцам образца, контактирующим с траверсами. Такое требование значительно усложняет моделирование методом КЭ.

4. Сложность понимания («расшифровки») полученных картин.

Сложность анализа полученных картин ПО-методом значительно зависит от поставленной задачи.

При поставленной задаче определить конкретные значения напряжений в точках модели по картине

изохром дополнительно требуется:

а) отдельным опытом определить оптическую постоянную материала модели;

б) получить дополнительные картины изоклин – линий наклона главных напряжений к выбранным координатным осям (рис. 5, а);

в) по линиям изоклин необходимо построить поля изостат (рис. 5, б) – траекторий главных напряжений, по которым далее выполняется вычисление главных напряжений.

После этого проводится графическое интегрирование по выбранной изостате. Однако если требуется провести лишь качественный анализ напряжений, то ПО-метод дает возможность очень просто и наглядно сделать важные заключения и выводы, а также наметить пути достижения оптимального распределения напряжений.

Метод компьютерного КЭ позволяет определить значение любых напряжений в любой точке модели простым наведением курсора на нужную точку (рис. 6), что является неоспоримым преимуществом этого метода.

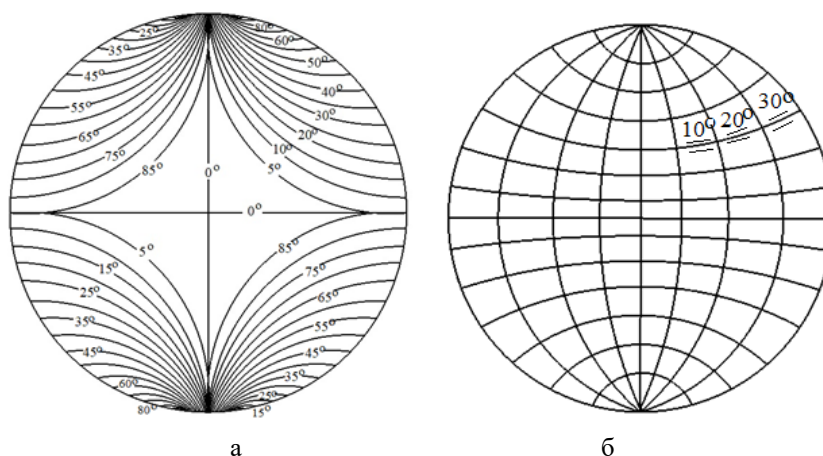


Рис. 5. Поля изоклин и изостат, соответствующие нагружению диска с получением изохром по рис. 1.

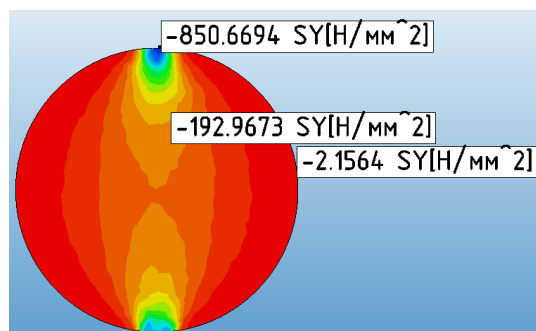


Рис. 6. Определение напряжений в точках модели диска, сжатого диаметрально приложенной силой, КЭ-методом

5. Точность метода.

При моделировании ПО-методом точность определения напряжений ощутимо снижается при переносе линий изоклин с поля модели на расчетный чертеж (изоклины порой имеют значительную ширину и прерываются в изотропных точках, в которых $\sigma_1 - \sigma_2 = 0$) и составлении поля изостат.

При моделировании методом КЭ точность расчета определяется характеристикой сетки разбиения модели (величиной КЭ, адаптивностью сетки КЭ к элементам модели и др.) и зависит от характеристики используемого оборудования (оперативной памяти ПК). Современные компьютеры позволяют получить достаточно точную картину напряжений (в том числе рассчитанных по теориям прочности) и перемещений. Дополнительно можно получить картины коэффициента запаса прочности, полей пластических деформаций и др.

Выполним сравнительное моделирование ПО- и КЭ-методом на примере нагружения пружинной детали верхнего строения железнодорожного пути – противоугона [23].

Противоугон нужен для увеличения сопротивления смещению рельса относительно шпалы. При движении локомотива крутящий момент от силовой установки передается через ведущую колесную пару на головку рельса, образуя силу, сдвигающую рельс. К деревянным шпалам рельс прижимается через накладку костылями, однако их удерживающей способности зачастую оказывается недостаточно. Поэтому на подошву рельса дополнительно устанавливаются (защелкиваются) пружинные скобы – противоугоны, которые, упираясь в шпалу, препятствуют смещению рельса (рис. 7). На рис. 7 красной стрелкой показано усилие, действующее на рельс от колеса подвижного состава, а зелеными стрелками показаны усилия, действующие на рельс со стороны ветвей зева противоугона и создающие силы трения. Суммарная сила трения по ГОСТ 32409-2013 должна быть не менее 7840 Н.

Модель железнодорожного противоугона, изготовленная из эпоксидной смолы Э-40, пластифицированной дибутилфталатом и отвержденной малеиновым ангидридом, показана на рис. 8. Картины изо-

хром в оптически активной модели противоугона показаны на рис. 9.

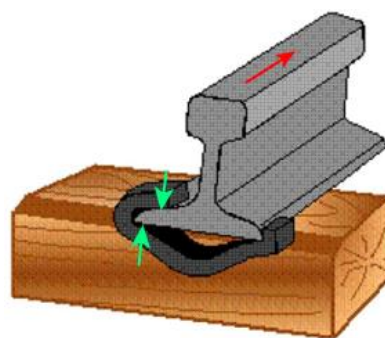


Рис. 7. Пружинный противоугон, закрепленный на рельсе



Рис. 8. Оптически активная модель железнодорожного противоугона

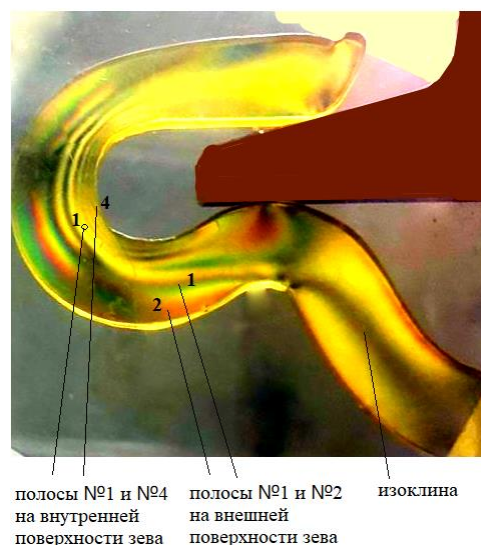


Рис. 9. Изохромы в оптической модели противоугона при постановке на рельс

На рис. 8, 9 видно, что внутренняя поверхность малой пружинной петли (зева) противоугона является источником концентрации напряжений. При постановке противоугона на рельс ветви зева раздвигаются и дуга зева нагружается внецентренным растяжением. Изохромы появляются на контуре модели и по мере нагружения продвигаются вглубь модели.

Первая изохрома (красного цвета) появляется на внутренней поверхности дуги зева раньше, чем первая изохрома красного цвета с внешней стороны. Порядок последней в очерёдности появления по рис. 9 изохромы красного цвета на внутренней поверхности дуги зева – №4. При этом на внешней поверхности зева сформировалась вторая красная изохрома и зарождается третья изохрома. То есть на внутренней поверхности зева появляется приблизительно в 1,5–2 раза больше изохром, чем с противоположной стороны зева противоугона. Отмеченное обстоятельство позволило сделать вывод о неравномерности нагружения зева и разработать противоугоны с трапецевидным поперечным сечением [24], повышающим срок службы противоугона.

Метод КЭ позволил уточнить результаты этого исследования. Модель противоугона, полученная в ПК КОМПАС и импортированная в ПК Studio, показана на рис. 10. Картина («карта») напряжений, полученная при нагружении модели, выполненной согласно ГОСТ из стали 60С2, показана на рис. 11. Каждая ветвь зева противоугона нагружена силой 5500 Н, являющейся ответной реакцией со стороны подошвы рельса по рис. 7. Суммарно эти две силы создают си-

лу трения – требуемое по ГОСТ сопротивление сдвигу противоугона относительно рельса, равную 7840 Н.

Как видно из рис. 11, компьютерное моделирование методом КЭ позволяет получить точные значения напряжений в любой точке модели. В результате можно определить точное отношение значений напряжений на внутренней и внешней ветвях зева противоугона: $232,75 \text{ МПа} / 123,34 \text{ МПа} = 1,89$.

Выводы

1. Поляризационно-оптический и конечно-элементный методы отличает визуализация картин напряжений и деформаций во внутриконтурных точках моделей, нагруженных твердых тел.

2. Поляризационно-оптический метод основан на простых физических законах и может быть использован на начальном этапе моделирования для качественного анализа напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта на реальных моделях. Моделированием ПО-методом получены рекомендации по повышению срока службы железнодорожного противоугона.

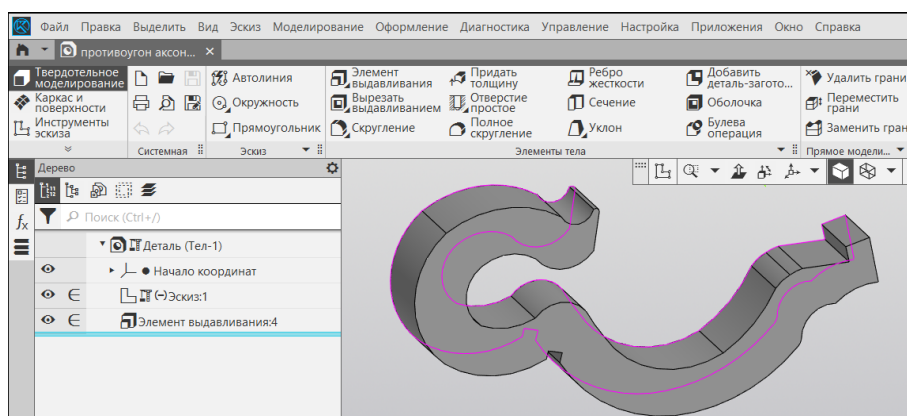


Рис. 10. Модель железнодорожного противоугона для исследования методом КЭ

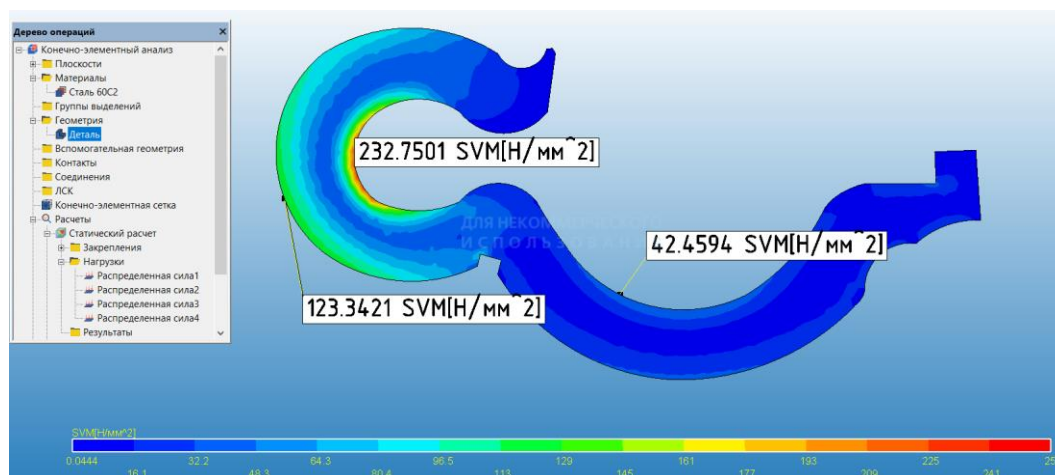


Рис. 11. Напряжения по теории прочности Мизеса в противоугоне 1П75 при постановке на рельс Р75

3. Метод конечных элементов позволяет получить уточненные картины напряжений и деформаций при условии владения базовыми положениями механики твердого тела, необходимыми при виртуальном компьютерном моделировании. Использование метода КЭ позволило получить дополнительные рекомендации по оптимизации формы поперечного сечения противоугона.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НТЦ АПМ Замрий А.А. и Лотареву А.В. за оказанную помощь в создании моделей в ПК «WinMahine».

Список источников

- Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Часть II. Конечные деформации. М.: Наука, 1984. 432 с.
- Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. В 3-х т. / под ред. Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г. 4-е изд., перераб. и доп. Т. 1. Методы испытаний и исследования. В 2-х кн. Кн. 2. М.: Металлургия, 1991. 462 с.
- Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. 56 с.
- ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. Изд-во стандартов, 1991. 47 с.
- Сухарев И.П., Ушаков Б.Н. Исследования деформаций и напряжений методом муаровых полос. М.: Машиностроение, 1969. 208 с.
- Дюрелли А., Паркс В. Анализ деформаций с использованием муара. М.: Мир, 1974. 360 с.
- Фрохт М. Фотоупругость. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. М.: Гостехиздат, 1948. 920 с.
- Воронцов В.К., Полухин П.И. Фотопластичность. М.: Металлургия, 1969. 400 с.
- Даутов Р.З., Карчевский М.М. Введение в теорию метода конечных элементов: учеб. пособие. Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. 239 с.
- Конев С.В. От закона Гука до APM FEM, интегрированного в систему КОМПАС : учебное пособие. Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2024. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/22293>.
- Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. 279 с.
- Стружанов В.В., Бурмашева Н.В. Теория упругости: основные положения: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 204 с.
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Поляризатор>.
- Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высш. шк., 1984. 384 с.
- Шарафутдинов Г.З. Об основном законе фотоупругости // Вести Моск. ун-та. Серия 1: Математика, механика. 2012 №1. С.38-41.
- Поляризационно-оптический метод моделирования. <https://helpiks.org/3-2414.html?ysclid=mfjanh9m91811190110>.
- КОМПАС-3D v17. Руководство пользователя. https://ascon.ru/source/info_materials/2018/04/KOMPAS-3D%20v17_Guide.pdf.
- APM Studio. Руководство пользователя. <https://apm.ru/downloads/188/APM-Studio.pdf?ysclid=mfj8ne2b2k951993365>.
- APM Structure3D. Руководство пользователя. https://vestnik.bsau.ru/netcat_files/File/CIT/manuals/APM_WinMachine/APM_Structure3D.pdf18.
- Аксёнов А.П. Математика. Математический анализ: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям. Ч. 2. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
- Матрица Якоби и якобиан. <https://vmath.ru/vf5/algebra2/dets/jacobian?ysclid=mfjqad9a9f660490325>.
- Исследование напряженно-деформированного состояния эксцентрикового кулачка методом конечных элементов / Конев С.В., Кенарь Е.В., Звягина Е.Ю., Огарков Н.Н., Козлов Р.А. // Теория и технология металлургического производства. 2025. № 2 (53). С. 58-64. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82896173>
- ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие.
- ГОСТ 32409-2013. Противоугоны пружинные к железнодорожным рельсам. Технические условия.
- Пат. RU2032784 РФ, МПК E01B13/00 Устройства, предотвращающие перевод и угон рельсов/ Конев С.В., Кривошапов В.В., Пудов Е.А. и др.; заявитель и патентообладатель смешанное товарищество «Импульс 1», заявл.28.02.1992, опубл. 10.04.1995.

Сведения об авторах

Конев Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: svk1956@mail.ru

Осипова Ольга Александровна – старший преподаватель кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: osipova_1977@mail.ru

Кенарь Екатерина Владимировна - кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Российская Федерация. Email: redket78@mail.ru

Козлов Роман Алексеевич – кандидат педагогических наук, доцент, декан факультета ФКиСМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, РФ. Email: fkism@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF DETERMINING STRESSES IN MODELS OF SOLID BODIES BY THE POLARIZATION-OPTICAL METHOD AND THE FINITE ELEMENT METHOD

Konev Sergey V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: svk1956@mail.ru

Osipova Olga A. – Senior Lecturer, Department of Mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: ocipova_1977@mail.ru

Kenar Ekaterina V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: redket78@mail.ru

Kozlov Roman A. – Candidate of Pedagogical Sciences. Phd, Associate Professor, Dean of FFKIS, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fkism@magtu.ru

Abstract. The polarization-optical and finite element methods are characterized by the visualization of stress and strain patterns at intra-contour points of models of loaded solids. A comparative assessment of these methods is provided. A comprehensive assessment is made by comparing the amount of theoretical knowledge required to master the methods, the complexity of model preparation, the reliability of boundary conditions modeling, as well as the difficulty of understanding stress distribution patterns and the accuracy of the obtained results. Using the example of modeling a spring component of a railway superstructure—a rail anti-theft device—the advantages and disadvantages of the optical model and the finite element model constructed in the Russian software package "WinMachine" are clearly demonstrated. The polarization-optical method can be used at the initial stage of modeling for a qualitative analysis of the stress-strain state of the object under study. The finite element method allows for obtaining more precise patterns of stress and strain distribution obtained using the polarization-optical method.

Keywords: polarization-optical method, finite element method, model, complexity, accuracy, stress and strain patterns

Ссылка на статью:

Сравнительная оценка эффективности определения напряжений в моделях твердых тел поляризационно-оптическим методом и методом конечных элементов / Конев С.В., Осипова О.А., Кенарь Е.В., Козлов Р.А. // Теория и технология металлургического производства. 2026. №2(57). С. 40-47. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-40-47](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-40-47)

Konev S.V., Osipova O.A., Kenar E.V., Kozlov R.A. Comparative assessment of the efficiency of determining stresses in models of solid bodies by the polarization-optical method and the finite element method. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 57, no. 2, pp. 40-47. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-40-47](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-40-47)