

Сойкин Борис Михайлович, Никитин Михаил Алексеевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ
УПРУГОДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/3/46.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 3 (58). С. 128-134. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/3/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

Из формул (1)-(6), получаем:

$$MCA = \{Dв_1, \dots, Dв_i; Cц_1 \dots Cц_i, ПВ_1 \dots ПВ_i, ВВ_1 \dots ВВ_i, ПрВ_1 \dots ПрВ_i, ПЗШ_1 \dots ПЗШ_i, ВШЗХ_1 \dots ВШЗХ_i, ВдШЗХ_1 \dots ВдШЗХ_i, ПШЗХ_1 \dots ПШЗХ_i, Сх_1 \dots Сх_i, КрП_1 \dots КрП_i, ВМ_1 \dots ВМ_i; ХЧ_1 \dots ХЧ_i; СУ_1 \dots СУ_i; K_1, \dots, K_i; PЧА1, PЧА2 \dots PЧАj \} \quad (7)$$

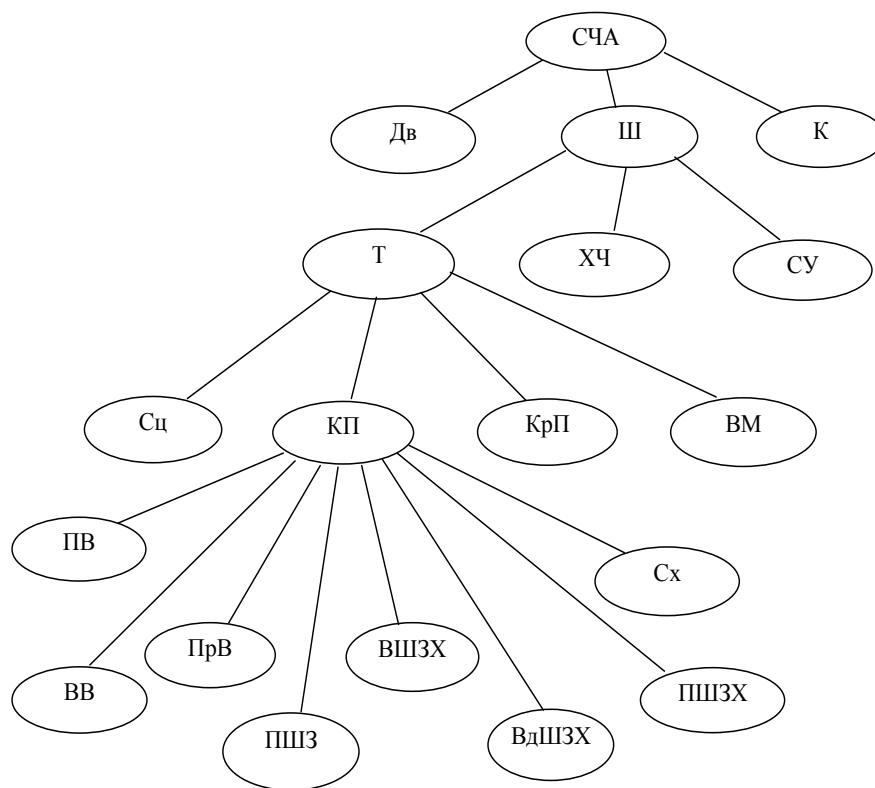


Рис. 6. Граф математической модели механических частей автомобиля

Рис. 6. Граф математической модели механических частей автомобиля

Представленное выше описание можно изобразить в виде графа, вершинами которого будут механические узлы и детали автомобиля, а ветвями их конструкторско-технологические параметры (Рис. 6).

На основе разработанной конструкторско-технологической математической модели можно создать групповые технологические процессы, применение которых позволит сократить время изготовления требуемых деталей автомобиля при его ремонте, а также внедрить передовую групповую технологию на автомобилестроительных предприятиях.

УДК 621.941

Технические науки

Борис Михайлович Сойкин, Михаил Алексеевич Никитин

Балтийский государственный технический университет им. Д. Ф. Устинова «Военмех»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ УПРУГОДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ[©]

На современном этапе развития науки и техники особо важное значение приобретают проблемы создания и развития новых информационных технологий. Это в равной мере относится и к математике и прикладным техническим наукам [1]. К числу наиболее важных, сложных и актуальных проблем современности следует отнести проблему совершенствования методологии решения научно-практических задач, связанных с интегрированием сложных дифференциальных уравнений с частными производными четвертого и восьмого порядков.

Эти уравнения или их системы встречаются в самых различных областях человеческих знаний: чистой и прикладной математике, физике, механике деформируемого твердого тела, технологии машиностроения, электротехнике, информационных системах и др.

Большое распространение дифференциальные уравнения высших порядков получают в расчетной практике при создании высокоэффективных крупномасштабных образцов современной техники и технологии.

С теоретической точки зрения наиболее сложным объектом для изучения поведения машиностроительных конструкций является тонкостенная упруго деформируемая пластина и цилиндрическая оболочка, содержащая, как известно, наибольшее количество характерных свойств изделий произвольного типа и наиболее характерным конструктивным типом с точки зрения практического применения. Напряженно-деформированное состояние пластины или оболочки, находящейся под воздействием нормальных сосредоточенных и локально распределенных нагрузок описываются дифференциальными уравнениями в частных производных четвертого или восьмого порядков [1-4].

Современная методика решения этих уравнений основана в основном на численных (весьма приближенных) методах нахождения целевых функций (перемещений или напряжений).

Целью настоящей работы является обобщение результатов многолетних (с 1965 г.) исследований, касающихся вопросов создания методологии аналитического решения научно-практических задач, основанных на интегрировании сложных дифференциальных уравнений четвертого и восьмого порядков. В общем виде задача состоит в нахождении аналитического решения дифференциального уравнения, удовлетворяющего заданным граничным условиям двух независимых переменных.

Основы теории деформируемого твердого тела были разработаны Навье (1821), Коши (1822), Пуассоном (1829).

Современная классическая теория пластин и оболочек создана трудами С. П. Тимошенко, Л. Г. Доннеллом и др. Большое теоретическое и практическое значение по-прежнему занимают проблемы определения напряженно-деформированного состояния упруго деформируемых механических систем, поведение которых описывается физической моделью линейно-упругого тела.

Главное внимание в данной статье уделено проблемам расчета и проектирования тонкостенных элементов в виде пластин и оболочек, выполненных из изотропных и анизотропных материалов.

Предлагаемую методологию целесообразно иллюстрировать на примерах решения классических уравнений Доннелла [4] и С. П. Тимошенко.

В основу предлагаемой методологии автором работы положены принципы системного анализа, содержащие совокупность методов и средств, используемых при исследовании и конструировании сложных и сверх сложных объектов, прежде всего методов выработки, принятия и обоснования решений при создании, проектировании и управлении технико-технологическими системами.

В работах С. П. Тимошенко рассматриваются лишь частные наиболее простые случаи решения прикладных двумерных задач механики тонкостенных пластин, описываемых дифференциальными уравнениями четвертого порядка. Решения для круговых цилиндрических оболочек, с уравнениями восьмого порядка даются в разомкнутом виде и предполагают численное суммирование двойных тригонометрических рядов. Для достижения достаточно достоверных результатов приходится удерживать миллионы членов двойного тригонометрического ряда, что требует значительных затрат (до 40 и более часов) машинного времени компьютера, IBM с 286 процессором, а это существенно усложняет задачу научно-технической подготовки современного производства. В связи с этим актуальной становится проблема разработки и совершенствования экономически эффективных методов исследования математических, конструкторских и технологических систем.

Конъюнктура рынка требует постоянного повышения качества интеллектуального труда ученых, инженеров и специалистов. Разработка и внедрение научных идей, теорий и технологий способствует становлению и развитию рынка интеллектуальной собственности.

Последние публикации в отечественной и зарубежной научно-технической литературе свидетельствуют об исключительно большом интересе, проявляемом к созданию и внедрению новейших наукоёмких технологий. Особое значение эти технологии приобретают при организации механической обработки изделий заготовительного производства. На ряде машиностроительных предприятий страны доля трудоемкости производства заготовок составляет около 30% от общей трудоемкости изготовления машин. Значительное количество металлопродукции изготавливается из металлопроката общего, отраслевого и специального назначения. Перед запуском в производство заготовки из металлопроката должны быть очищены от дефектов, окарины и других поверхностных отложений.

Традиционная технология поверхностной обработки заготовок сводится обычно к применению малопродуктивных энергоёмких и экологически опасных производственных процессов (электрофизических, химических, дробеструйных и др.).

Актуальной проблемой в этом направлении является создание и внедрение более производительных, менее энергоёмких и малоотходных технологий механической обработки заготовок с высокотвердыми поверхностными слоями [5-7].

Одним из путей решения этих проблем является создание принципиально новой малоотходной технологии следящей механической обработки, основанной на применении упругоконтактных технологических систем.

В настоящее время теория проектирования технологии следящей механической обработки приобретает особое значение в связи с острой необходимостью технического перевооружения машиностроительного комплекса и настоятельной потребностью в увеличении объема производства продукции, повышении её качества, надежности и долговечности.

Внедрение новых более эффективных методов и средств механической обработки конструкционных материалов - важнейшая проблема современной технологической науки, тесно связанной с фундаментальной наукой.

Технология следящей механической обработки деталей и заготовок - это новая концепция в машиностроении, которая радикально изменяет традиционные подходы к организации производства.

Основные цели и задачи, решаемые средствами малоотходной технологии следящей механической обработки:

- черновая и чистовая обработка деталей и заготовок с частичным или полным исправлением формы обрабатываемой поверхности (технологической наследственности);

- сплошная и выборочная зачистка проката с удалением высокотвердого газонасыщенного слоя глубиной до 1...2 мм;

- удаление альфированного слоя со штампованных заготовок из титановых сплавов;

- снятие грата со сварных конструкций с сохранением усиления сварного шва.

Решение всех перечисленных задач возможно лишь с проведением фундаментальных теоретических исследований, основанных на принципиально новых идеях и подходах.

К настоящему времени известно несколько подходов, применяемых в расчетах прочности и деформативности современных конструкционных материалов и изделий из них:

1. Атомистический подход, включающий развитие теории дислокаций.

2. Подход с позиций структуры материала.

3. Подход с позиций теоретической механики разрушения, учитывающий образование и развитие трещин в материале.

4. Подход, основанный на численных (итеративных) методах решения двумерных задач.

5. Феноменологический подход, включающий проведение аналитических исследований.

6. Методы экспериментальных исследований.

7. Системный подход к решению наиболее важных и сложных научно-практических задач.

Большая часть современных ученых-исследователей придерживается в основном методики применения вычислительных алгоритмов, используемых, например, в задачах механики деформируемого твердого тела [1, с. 5-31]. С точки зрения методологии реализации вышеперечисленных подходов наиболее важным с теоретической точки зрения является системный подход, крайне необходимый на всех этапах научных исследований.

Итеративные методы из перечисленных подходов состоят в том, что численные расчеты выполняют с некоторого пробного допустимого решения, а затем используют некоторый алгоритм, обеспечивающий последовательное улучшение этого решения. Оптимум решения достигается лишь как предел бесконечной последовательности решений, т.е. бесконечного вычислительного процесса.

Аналитический метод состоит в последовательном проведении математических преобразований исходной модели, приводящих к искомому результату, например, формуле, выражающей зависимость исследуемой функции от её аргументов. Лишь на последнем этапе, когда такая формула получена, подставляют числа и получают искомое решение. Как показывает опыт, наибольшая эффективность в разработке, создании и использовании новой техники достигается с применением аналитических методов исследования.

В связи с этим большой научный и практический интерес имеет рассмотрение теоретической задачи об определении минимальной контактной нагрузки, при достижении которой в поверхностном слое деформированного материала появляется гарантированный очаг разрушения. Это оправдывает применение аналитических методов расчета по допускаемым напряжениям. Разработка теории контактного разрушения поверхностного слоя на заготовке остаётся на сегодня одной из основных задач механики деформируемого твердого тела (заготовки).

Важной и сложной проблемой является теоретическое описание напряженно-деформированного состояния анизотропного поверхностного слоя в виде свободно опертой по краям цилиндрической оболочки. Известно, что численные методы, получившие в последние годы большое развитие, при решении этой важной контактной задачи оказываются малоэффективными, в связи с чем аналитические методы продолжают здесь играть главную роль. При этом практический интерес приобретает проблема нахождения достаточно точного аналитического решения задачи по определению перемещений и напряжений в тонкостенной оболочке из одного материала, покоящегося на поверхности другого материала.

В настоящих исследованиях представлена концепция аналитического подхода к решению наиболее важных и сложных в теоретическом плане задач расчета и проектирования объектов современной техники и технологии. Рассматриваемый подход позволяет сократить объем и стоимость вычислительных операций, связанных с научно-технической подготовкой современного производства [7].

Разработанная автором методология аналитического решения научно-практических задач позволяет до предела упростить расчеты и проектирование объектов современной техники и технологии [10].

Разработать методологию решения актуальных научно-практических задач, приведенных в цитируемых работах, удалось благодаря применению нового научного подхода к изучению теоремы разложения алгебраических функций, содержащих полиномы четвертой и восьмой степени.

В качестве примера рассмотрим простейший приём получения основного алгебраического разложения.

Для этого представим две простейшие алгебраические дроби в следующем виде: $\frac{1}{x+a}; \frac{1}{x+b}$. Из первой

дроби вычтем вторую, в результате получим

$$\frac{1}{x+a} - \frac{1}{x+b} = \frac{b-a}{x^2 + (a+b)x + ab} \quad (1)$$

Вводя обозначения: $b-a=2\sqrt{c^2-d}$; $a+b=2c$; $a \cdot b=d$,

найдем формулу разложения алгебраической дроби со знаменателем в виде биквадратной функции [9].

$$\frac{1}{x^4+2cx^2+d} = \frac{1}{2\Delta} \left(\frac{1}{x^2+c-\Delta} - \frac{1}{x^2+c+\Delta} \right), \quad (2)$$

где $\Delta = \sqrt{c^2-d}$.

Новые формулы разложений позволяют понизить степень исходных выражений, до предела упростить вычисление определенных интегралов с бесконечными верхними пределами [10].

Обратимся к рассмотрению конкретной математической задачи по определению напряженно-деформированного состояния ортотропного слоя на цилиндрической заготовке, с помощью прикладной теории пластин и оболочек.

Основной предпосылкой при построении классической теории тонких оболочек служит известная гипотеза недеформированных нормалей. Примем далее гипотезу о ненадавливании слоёв, параллельных срединной поверхности оболочки. Другими словами, если нормальные напряжения σ_3 , перпендикулярные срединной поверхности, и имеют место, то пренебрежимо малы по сравнению с напряжениями σ_1 и σ_2 , параллельными срединной поверхности оболочки. Это допущение неизмеримо упрощает задачу исследований вследствие замены объемно-напряженного состояния оболочки плоско-напряженным. Материал оболочки считаем ортотропным, имеющем четыре независимые упругие постоянные E_1, E_2, ν_1, G при соблюдении условия $E_1 \nu_2 = E_2 \nu_1$. При этом будем придерживаться общепринятого понимания вопроса о тонко-

стенности деформируемой оболочки, т.е. когда $\frac{h}{R} \leq \frac{1}{30}$.

Высокопрочный поверхностный слой, подвергается механическому разрушению и удалению имеет физико-механические характеристики, отличающиеся от характеристик основного материала заготовки.

Основываясь на допущениях прикладной теории тонких цилиндрических оболочек, выпишем одно разрешающее уравнение восьмого порядка [11].

$$\begin{aligned} & \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^2 \frac{\partial^8 w}{\partial x^8} + 4 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{\partial^8 w}{R^2 \partial x^6 \partial \phi^2} + 6 \frac{E_1}{E_2} \frac{\partial^8 w}{R^4 \partial x^4 \partial \phi^4} + 4 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial^8 w}{R^6 \partial x^2 \partial \phi^6} + \frac{\partial^8 w}{R^8 \partial \phi^8} \\ & + \frac{K}{D_2} \left(\frac{E_1}{E_2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial^4 w}{\partial \phi^2 \partial x^2 R^2} + \frac{\partial^4 w}{R^4 \partial \phi^4} \right) + \frac{12(1-\nu_1 \nu_2)}{R^2 h^2} \frac{E_1}{E_2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = \\ & \frac{1}{D_2} \left(\frac{E_1}{E_2} \frac{\partial^4 q}{\partial x^4} + 2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial^4 q}{R^2 \partial x^2 \partial \phi^2} + \frac{\partial^4 q}{R^4 \partial \phi^4} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где x, ϕ - осевая и окружная координаты исследуемой точки срединной поверхности цилиндрической оболочки;

w - компонента перемещения исследуемой точки в радиальном направлении;

E_1, E_2, ν_1, ν_2 - модули нормальной упругости и коэффициенты Пуассона материала оболочки в направлении соответствующих осей;

D_1, D_2 - цилиндрические жесткости оболочки при изгибе в осевом и окружном направлениях;

q - интенсивность нормальной внешней нагрузки;

K - модуль упругого основания (коэффициент постели) заполнителя.

Искомые перемещения w и интенсивность поперечной нагрузки q представим в виде двойных тригонометрических рядов, в результате получим [8]

$$w(x, \phi) = \frac{2PR^3}{\pi LD_2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{Am^2+n^2})^2 \sin \frac{m\pi x_0}{L} \sin \frac{m\pi x}{L} \cos n\phi}{(\sqrt{Am^2+n^2})^4 + (\sqrt{Am^2+n^2})^2 \frac{KR^4}{D} + ABm^4}, \quad (4)$$

$$\text{где } A = \frac{\pi^4 R^4 E_1}{L^4 E_2}; \quad B = 12(1-\nu_1 \nu_2) \left(\frac{R}{h} \right)^2.$$

Опуская промежуточные выводы, приведенные в работе [Там же] выпишем основные формулы для изгибающих моментов

$$M_r = \frac{p}{4} \left(1 - \sqrt{2} \frac{x}{l} \right) \exp \left(-\sqrt{2} \frac{x}{l} \right); \quad (5)$$

$$M_\phi = \frac{P}{4} \exp\left(-\sqrt{2} \frac{x}{l}\right), \quad (6)$$

где M_r, M_ϕ - соответственно радиальный и тангенциальный изгибающие моменты;

x - координата, отсчитываемая от точки приложения сосредоточенной нагрузки, действующей со стороны инструмента-индентора.

$l = \sqrt[4]{D/K}$ - характеристика гибкости поверхностного слоя.

Располагая найденными выражениями, легко найти формулу для определения касательных напряжений в поверхностном слое с изотропными свойствами

$$N_r = -\frac{P}{4l} \left(3\sqrt{2} - \frac{2x}{l}\right) l^{-\sqrt{2} \frac{x}{l}} \quad (7)$$

Для рассматриваемой задачи о сосредоточенном воздействии на тонкостенный слой коэффициент постели может быть определен аналитически

$$K = \frac{0,65E_0}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}, \quad (8)$$

где $E_0; E$ - модули упругости основания и оболочки;

h - толщина деформируемой оболочки (поверхностного слоя).

С учетом $x/l = 1,6712 \frac{x}{h} \sqrt[3]{E_0/E}$ формулы (5-7)

примут следующий вид:

$$M_r = \frac{P}{4} \left(1 - 2,3634 \frac{x}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}\right) \exp\left(-2,3634 \frac{x}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}\right) \quad (9)$$

$$M_\phi = \frac{P}{4} \exp\left(-2,3634 \frac{x}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}\right) \quad (10)$$

$$N_r = -0,4178 \frac{P}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}} \left(3\sqrt{2} - 3,3424 \frac{x}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}\right) \exp\left(-2,3634 \frac{x}{h} \sqrt[3]{\frac{E_0}{E}}\right) \quad (11)$$

Анализ представленных зависимостей показывает, что большое значение на величину изгибающих моментов оказывает модуль упругости основания E_0 . С увеличением E_0 изгибающие моменты, а соответственно и изгибные напряжения в тонкостенном слое уменьшаются. В связи с этим возрастает и требуемое контактное усилие на инструмент, которое необходимо для разрушения поверхностного слоя.

Следует обратить внимание еще на одно важное в практическом отношении обстоятельство. Если положить, что нормальная нагрузка распределена по площади круга, то при определенных значениях его радиуса изгибающие моменты в этой круговой области контакта становятся пренебрежительно малыми. В таком случае расчет разрушающей нагрузки следует производить не по изгибающим напряжениям, определяемым по выражениям (9-11), а по напряжениям, характерным для упругого тела, описываемыми средствами теории упругости [1].

Выше рассмотрена задача о воздействии радиальной сосредоточенной нагрузки на цилиндрическую оболочку, покоящуюся на другой оболочке (упругом заполнителе). В теоретическом плане сосредоточенная нагрузка распределена по площади бесконечно малых размеров. В действительности же она всегда локализуется на площади конечных размеров.

В расчетах элементов аэрокосмического комплекса и технологических процессов их изготовления практический интерес имеет определение прогиба оболочки (пластины), нагруженной силой, распределенной по площади некоторого круга с фиксированным радиусом конечных размеров.

С учетом проведенных выше исследований получена следующая аналитическая формула:

$$W_{\max} = \frac{P}{8\sqrt{kD}} \cdot 3 \left(\frac{l}{a}\right)^2 \left[1 - \left(1 + \sqrt{2} \frac{a}{l} + \frac{2a^2}{3l^2}\right) \exp\left(-\sqrt{2} \frac{a}{l}\right)\right], \quad (12)$$

где W_{\max} - максимальный прогиб оболочки в центре площадки загрузки;

P - нормальная нагрузка, действующая на оболочку;

k - модуль упругого основания (коэффициент постели);

$l = \sqrt[4]{\frac{D}{k}}$ - характеристика гибкости оболочки (плиты);

a - радиус круга, по которому распределена нормальная нагрузка.

В таблице 1 приведены результаты вычислений прогиба оболочки (плиты) на упругом основании по выведенной формуле и по известным данным, полученными численным методом на основе табулированных функций Бесселя (Авторы В. Г. Корнев и Е. И. Черниговская).

Табл. 1. Прогиб оболочки (плиты) на упругом основании в центре круговой площадки загрузки

	a/l						
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0
По предлагаемой формуле (12)	0,9833	0,9133	0,7530	0,5947	0,4621	0,3407	0,2795
По результатам численных расчетов В. Г. Коренева	0,9810	0,9178	0,7777	0,6324	0,5009	0,3709	0,3012

Формула (12) позволяет вести расчет для диапазонов отношений $a/l > 6$, данные для которых в справочной литературе отсутствуют.

Большой интерес для специалистов представляет вопрос о технико-экономической эффективности результатов выполненных фундаментальных исследований. Из большого количества выведенных автором формул остановимся лишь на одной из них. При расчете прочности цилиндрической оболочки в зоне воздействия радиально сосредоточенной нагрузки получена следующая формула:

$$\sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{n=0,1,2,\dots}^{\infty} \frac{m^2 \cos m\pi x}{(A^2 m^2 + n^2)^2 + B^4} = \frac{\pi^2}{4A} \left(1 - \pi \sqrt{2B} \frac{x}{l} \right) e^{-\pi \sqrt{2B} \frac{x}{l}}, \quad (13)$$

$$\text{где } A = \frac{\pi^4 R^4 E_1}{l^4 E_2}; \quad B = 12(1 - \nu_1 \nu_2) \left(\frac{R}{h} \right)^2,$$

R, l, h – радиус и длина оболочки;

E_1, E_2 – модули Юнга материала оболочки в осевом и окружном направлениях

ν_1, ν_2 – коэффициенты Пуассона.

Решение задачи по стандартной (итеративной) методике осуществлено путем суммирования членов тригонометрического ряда. Нахождение суммы числового ряда (13) (левая часть) и решения по аналитической формуле (правая часть) осуществлялась с применением ЭВМ ЕС-1046. Результаты вычислений представлены в Таблице 2.

Табл. 2. Сравнительный анализ результатов расчетов

Наименование работы	Трудоемкость, час	
	По формуле двойной суммы	По предлагаемой формуле
1. Разработка алгоритма решения задачи	5,0	-
2. Составление программы	3,0	0,5
3. Отладка программы и проверка на синтаксис	2,0	0,3
4. Расчет пробных вариантов и поиск оптимального	8,0	-
5. Расчет конкретного варианта для одной точки	3,0	0,0005
Итого:		
Общее время решение задачи	21,0	0,8
Из них машинное время ЕС-1046	13,0	0,0005
Затраты, связанные с непосредственным расчетом, руб.	$13,0 \times 100 = 1300$	$0,0005 \times 100 = 0,05$

Примечание к таблице: стоимость одного часа машинного времени ЕС-1046 в ценах 1989 г. - 100 руб. Расчет по формуле двойной суммы проводился с погрешностью $E = 10^{-12}$. В денежном выражении экономический эффект от теоретической разработки составил (в ценах 1989 г.) свыше 1300 руб. на одну расчетную точку (при фиксированных значениях A, B и X).

Результаты выполненных исследований могут иметь большое прикладное значение в инженерно-конструкторской деятельности специалистов в аэрокосмической отрасли, машиностроении и судостроении.

Предлагаемые нетрадиционные методы расчетов и проектного анализа перспективных техникотехнологических систем позволяют создать суперсовременную теорию оптимального проектирования и научно-

технического прогнозирования развития новой техники. Причем все это может быть осуществлено на базе простейших персональных компьютеров.

В заключение следует сказать, что многие рассмотренные выше проблемы, остаются ещё не решенными. К ним следует отнести проблему поверхностной обработки сложнопрофильных заготовок.

Актуальной проблемой, подлежащей разрешению, остается и повышение виброустойчивости технико-технологических систем, что может являться предметом самостоятельных научных исследований.

Разработанная технология следящей механической обработки является во многих случаях единственным и радикальным средством удаления дефектных газонасыщенных слоев в виде окарины, грата, альфированного слоя и т.п.

Выводы

1. В работе рассмотрена и реализована авторская идея альтернативной формулировки теоремы разложения, с помощью которой осуществляются аналитические решения дифференциальных уравнений высших порядков. Приведен пример вывода формулы разложения алгебраической дроби с полиномом четвертой степени.

2. Установлена актуальность и технико-экономическая целесообразность аналитического подхода к решению контактных задач механики деформируемого твердого тела.

3. По результатам выполненных исследований разработана методика расчета и проектирования следящей механической обработки материалов с особо твердыми и прочными поверхностными слоями [5].

4. Общие вопросы, следующие из теоремы разложения и теории двойных тригонометрических рядов могут быть использованы в учебном процессе и могут быть рекомендованы для математиков-прикладников, вычислителей, механиков, инженеров-конструкторов, технологов и аспирантов вузов.

Список литературы

1. **Вычислительные методы в механике разрушения** / под ред. С. Атлури; пер. с англ. А. С. Кравчука и Е. Г. Кузюкова. М.: Мир, 1990. 392 с.
2. **Гардымов Г. П., Сойкин Б. М.** Проблемы развития фундаментальной науки, техники и технологии // Труды Санкт-Петербургской инженерной академии / под. ред. Г. П. Гардымова, С. Д. Бодрунова. СПб., 1966. Вып. 1. С. 5-11.
3. **Градштейн И. С., Рыжик И. М.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. 1108 с.
4. **Доннелл Л. Г.** Балки, пластины и оболочки / пер. с англ.; под ред. Э. И. Григолюка. М.: Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 568 с.
5. **Патент РФ № 2069606. Многорезцовая головка** / Б. М. Сойкин, Ю. В. Белоусов, С. А. Князькин // Бюлл. изобретений. 1994. № 33. 14 с.
6. **Патент РФ № 2216657. Стержень с температурнезависимым осевым размером** / Б. М. Сойкин // Бюлл. изобретений. 2003. № 32.
7. **Сойкин Б. М.** Актуальные проблемы механической обработки тонкостенных цилиндрических оболочек, выполненных из ортотропных материалов // Металлообработка. СПб.: Политехника, 2004. № 3 (21). С. 2-6.
8. **Сойкин Б. М.** Аналитический метод решения контактных задач механики следящих технологических систем // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СПб.: СЗТУ, 2003. Вып. 30. С. 4-8.
9. **Сойкин Б. М.** Совершенствование методологии решения прикладных математических задач, связанных с интегрированием дифференциальных уравнений высших порядков // Альманах современной науки и образования. 2009. № 11 (30). Ч. 1. С. 77-81.
10. **Сойкин Б. М.** Теорема разложения: развитие и использование при решении актуальных проблем обработки // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СПб.: СЗТУ, 2008. Вып. 38. С. 15-23.
11. **Сойкин Б. М., Шемелев Ю. Ю., Никитин М. А., Осипенко Е. В.** Влияние упругих деформаций тонкостенных цилиндрических оболочек из ортотропных материалов на точность и производительность механической обработки // Металлообработка. 2004. № 5 (23). С. 7-13.

УДК 631.5:633.63

Сельскохозяйственные науки

Сергей Владимирович Соловьёв

Мичуринский государственный аграрный университет

ПРИЕМЫ УХОДА ЗА ПОСЕВАМИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЧИСТОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА[©]

Значительным резервом в повышении продуктивности сахарной свеклы является применение инновационных технологий. Засоренность посевов сахарной свеклы - главное препятствие повышению ее урожайности. Для решения проблемы борьбы с сорняками в настоящее время рекомендуются использовать гербициды, полностью отказавшись от междурядных обработок. Однако при использовании последних необходимо обеспечить их безопасное применение по отношению к растениям свеклы, что позволит снизить потери