

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ С  
ПОВЫШЕННОЙ ВИБРОАКТИВНОСТЬЮ

**Андрикевич В.В., Авлиекулов Ж.С., Овчинников Е.В., Кравченко В.И.,  
Авдейчик С.В.** (ГрГУ им. Я.Купалы, УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард», г. Гродно,  
Республика Беларусь, ТАДИ, г. Ташкент, Узбекистан)

**Введение.** Анализ литературных источников свидетельствует о том, что эксплуатационные характеристики автотракторных агрегатов и сельскохозяйственной техники определяются не только конструктивными особенностями [1-5], но и применяемыми материалами для изготовления отдельных деталей тормозных камер, амортизаторов, защитных кожухов и др. функциональных устройств [5-9]. Одним из важнейших узлов, определяющих эксплуатационные характеристики амортизирующих устройств, являются элементы конструкций, воспринимающие ударные механические воздействия в процессе контактирования колес транспортных средств и сельскохозяйственного оборудования с неровностями дорожного покрытия и предотвращающие их прямую передачу на подвеску. Демпфирующие элементы конструкций, применяемых в автотракторной и сельскохозяйственной технике, амортизаторов представляют собой или рабочие камеры с амортизирующей средой (жидкостью и газом), или специальные изделия из материалов с определенным сочетанием деформационно-прочностных характеристик. Демпфирующие материалы должны обеспечивать изделию заданные геометрические размеры и обладать способностью рассеивать механическую энергию в упругие колебания [4, 7, 9]. Существуют различные подходы к выбору демпфирующих материалов для изготовления деталей амортизирующих конструкций, основанные на управлении упругими характеристиками путем изменения степени структурирования (сшивки) эластомеров, синтеза новых полимерных материалов – термоэластопластов с заданным соотношением термопластичной и эластомерной составляющих, обработки полимерных композитов различными видами ионизирующих излучений. В ряде случаев материалы на основе вулканизированных каучуков (резин), термоэластопластов и радиационно сшитых термопластов обеспечивают эффективную эксплуатацию амортизирующих устройств. Однако совершенствование конструкций и непрерывный поиск оптимального сочетания «функциональность-стоимость» требует разработки новых решений на базе достижений полимерного материаловедения.

Одним из наиболее эффективных материалов с регулируемыми деформационно-прочностными характеристиками являются термоэластопласты типа термопластичных полиуретанов (ТПУ), микроячеистых полиэфируретанов (ПЭУ), сополимеров этилена и винилацетата (СЭВА) [10-11]. Однако метод синтеза новых марок ТПУ и ПЭУ с изменяемым соотношением жесткой и эластичной фазы не всегда возможен в заводских условиях и сопряжен со значительными трудностями, обусловленными необходимостью организовать специфическое производство композиционных материалов, требующие высокой квалификации обслуживающего персонала и применения дорогостоящих методов охраны окружающей среды. Более экономически выгодными являются методы модифицирования полимерных промышленно выпускаемых матриц функциональными добавками. Полиуретановые и полиэфируретановые термоэластопласты обладают способностью образовывать т.н. «механически совместимые смеси» с различными высокомолекулярными компонентами – термоэластопластами класса полиолефинов, полиамидов, стирольных пластиков и др. [12-22]. Вместе с тем, композиты, применяемые для изготовления демпфирующих изделий, должны обладать максимально возможной

совместимостью компонентов, препятствующей образованию дефектов на границе раздела фаз под действием многократных знакопеременных нагрузок.

**Методика исследований.** Для проведения исследований были использованы различные технологические приемы для повышения термодинамической совместимости ингредиентов демпфирующих композитов. Предварительные эксперименты по выбору компонентов позволили определить в качестве базовых связующих термопластичный полиуретан типа Витур (или его аналоги Desmoran, Elastogran) и регенерированный полиэфируретан ТПУ (ТУ 17-21-04-82). Модифицирующими компонентами служили дисперсные фрагменты структурированного эластомера, являющиеся отходами производства резинотехнических изделий из резин на основе бутадие-нитрильных каучуков марок СКН-26М, СКН-26, СКН-40 или хлоропренового каучука наирит Кр-5, а также порошки термопластичных материалов АБС, УПС, СФД, ПВХ. Дисперсность порошков не превышала 400 мкм при максимальном содержании фракции с размерами 100-150 мкм. Компоненты перемешивали в шаровых мельницах и перерабатывали на термопластавтоматах со шнековым пластификатором. Характеристики полученных термомеханически совмещенных композитов оценивали по стандартным методам, применяемым в полимерном материаловедении.

**Результаты и обсуждение.** Легирование термоэластопластов термопластами позволяет существенно изменять их деформационно-прочностные характеристики (табл. 1). При этом модифицирующий эффект проявляется при использовании различных термопластов, что свидетельствует об общности физико-химических процессов легирования, протекающих в зоне материального цилиндра при термомеханическом совмещении расплавов базового связующего и модификатора. В работах Песецкого С.С., Мануленко А.Ф., Рыскулова А.А., Полосмак Н.Д. и др. показано, что легирующий компонент в зависимости от содержания или вступает в механохимическое взаимодействие с матрицей с образованием сополимерной фазы [15-22], или формирует легирующие агрегаты с размером от 0,1 до 10 мкм, которые способствуют изменению прочности, твердости, износостойкости и других служебных характеристик [17, 22].

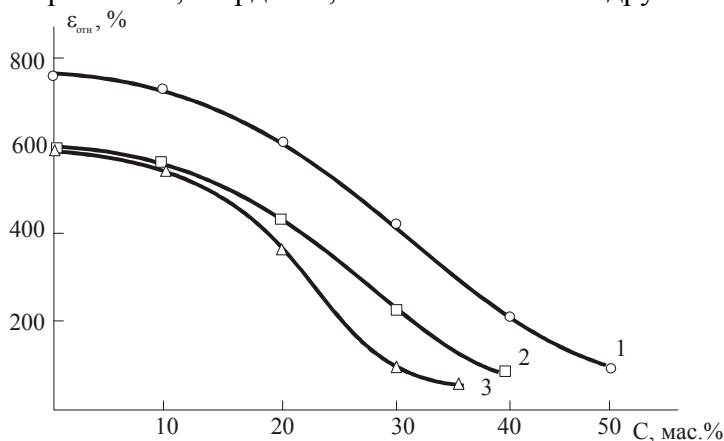


Рис. 1. Зависимость показателя относительного удлинения от содержания в термоэластопласте ТПУ (1), ПЭУ (2, 3) сополимера СФД (1, 2) и ПВХ (3)

Легирующее действие термопластичной добавки реализуется и в других видах термоэластопластов, например, в ПЭУ и СЭВА (табл. 2).

Термопластичные модификаторы оказывают комплексное влияние на свойства термоэластопласта вследствие изменения структуры на молекулярном, межмолекулярном и межфазовом уровнях. Важнейшими показателями для демпфирующих материалов являются стойкость к знакопеременным нагрузкам, относительное удлинение и остаточная деформация. Относительное удлинение

композиционного материала в известной мере является характеристикой совместимости компонентов и упрочняющего действия полимерного термопластичного модификатора на матрицу термоэластопласта. Исследования показывают, что матрицы ПЭУ и

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

ТПУ при введении термопластов (СФД, ПВХ) существенно уменьшают эластичность, что свидетельствует о комплексном влиянии модификатора (рис. 1).

Таблица 1. Физико-механические характеристики полиуретанового термоэластопласта Десмопан, модифицированного термопластами

Характеристики	Показатели для композиций с различными модификаторами				
	ТПУ	ТПУ+5% СФД	ТПУ+10% УПС	ТПУ+10% АБС	ТПУ+10% ПВХ
1. Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300	1250	1280	1310	1295
2. Твердость по Шору А, усл.ед	80	85	92	88	86
3. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	42	90	48	47	51
4. Относительное удлинение, %	700	580	250	400	280
5. Истираемость, м <sup>3</sup> /ГДж	22	18,3	35,6	25	19,1

Содержание модифицирующей добавки указано в масс. %

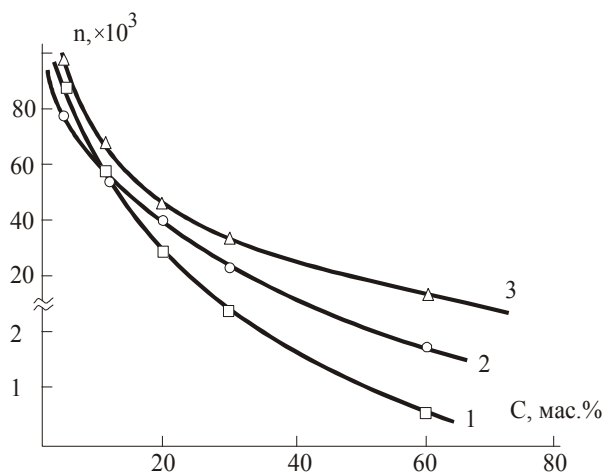
Таблица 2. Физико-механические характеристики композиционных материалов «ПЭУ-термопласт»

Характеристики	Показатели для композиций с различными модификаторами				
	ПЭУ	ПЭУ+10% ПВХ	ПЭУ+10% АБС	ПЭУ+10% УПС	ПЭУ+10% СФД
1. Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200	1200	1150	1190	1270
2. Твердость по Шору, усл.ед	70	86	88	92	85
3. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	15,6	15,8	15,6	10,4	14,3
4. Относительное удлинение, %	650	250	380	200	530
5. Истираемость, м <sup>3</sup> /ГДж	23,1	19,8	29,3	35,6	20,1

Содержание легирующего термопласта в масс. %.

Вероятной причиной уменьшения показателя относительного удлинения при модифицировании является образование механических препятствий развитию процессов высокоэластического деформирования локализованными агрегатами термопласта, а также образование сополимерных продуктов по типу «механохимических полимеров», образование которых отмечено в ряде работ [18-22]. Необходимо отметить, что в области малых концентраций модификатора (до 10 мас.%) относительное удлинение композита незначительно, что, вероятно, свидетельствует в пользу образования продуктов механохимического синтеза, мало изменяющих подвижность макромолекул базового термоэластопласта. Наличие в эластичной матрице термопластичных агрегатов изменяет устойчивость системы к воздействию знакопеременных деформаций. Исходные термоэластопласты (ТПУ, ПЭУ) обладают весьма высоким показателем стойкости к многократному деформированию. При введении в них термопластичного компонента число циклов до разрушения уменьшается, что, вероятно, обусловлено увеличением энер-

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**



\* отмечено разрушение образца

Рис. 2. Зависимость стойкости к многократным деформациям ТПУ (1) и ПЭУ (2, 3) от содержания СФД (1, 2) и СЭ (3)

приводит к получению композитов с высокой дефектностью, обладающих низкими служебными характеристиками.

**Вывод.** Приведенные исследования позволили установить важный для практического использования факт активного действия малых добавок термопластов различного состава на термоэластопластичные матрицы. Учитывая, что механизм действия легирующих добавок согласно литературным данным и нашим исследованиям зависит главным образом от соотношения «термоэластопласт-термопласт», наиболее эффективны в практическом применении композиты с компонентами, близкими по свойствам, прежде всего, по подвижности макромолекул. С этих позиций необходимо в качестве модифицирующих добавок использовать термопласты с высокой пластичностью и реологическими характеристиками, близкими к характеристикам термоэластопластичной матрицы.

**Список литературы:** 1. Кравченко, В.И. Структура и технология композиционных материалов для конструкций карданных передач серии «Белкард-2000». / В.И. Кравченко. - Дис. .... канд.тех.наук.-Гродно, 2001. – 150 с. 2. Рыжих Л.А. Особенности рабочих процессов пневматического тормозного привода автомобилей при низких температурах. Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. 05.22.02. - автомобили и тракторы. – Харьков. – 1987. – 27 с. 3. Пильгуй В.Б. Совершенствование мембранных исполнительных механизмов пневматического тормозного привода автомобилей. Автореф. ... дисс. канд. техн. наук 05.22.02. - автомобили и тракторы. – Харьков. – 1996. – 24 с. 4. Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов /Пер с англ. Ю.В. Попова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение. – 1984. – 463 с. 5. Стойкость к растрескиванию под нагрузкой малонаполненных полиолефинов, модифицированных высокодисперсными порошками. / А.И. Мамончик [и др.]. // Материалы. Технологии. Инструменты., Т. 6 (2001), № 2. – С. 44-46. 6. Применение в автомобилестроении полимерных композитов с волокнистыми наполнителями / В.В. Барсуков [и др.]. // Материалы. Технологии. Инструменты, Т. 7 (2002), № 2. – С. 40-44. 7. Мамончик, А.И. Полимерные композиционные материалы в автомобильных агрегатах: опыт разработки и применения / А.И. Мамончик, А.А. Скаскевич. // Вузовская наука, промышленность, международное

гии деформирования композита и повышением температуры в зоне деформирования (рис. 2).

При применении в качестве модификатора дисперсных частиц структурированного эластомера (СЭ) падение показателя устойчивости к воздействию знакопеременных нагрузок проявляется в меньшей мере. Это обусловлено близким строением макромолекул полиуретана и каучуков, используемых для получения резин общего назначения. Однако при содержании модификатора более 30-40% возникают существенные технологические трудности по совмещению компонентов без применения специальных смесителей. Это

сотрудничество: Материалы 4 междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч., ч. 2. – Мн.: БГУ, 2002. – С. 38-45. **8.** Kravchenko, V.I. Composition carbon-fiber reinforced plastics for the friction units of the automobile units / V.I. Kravchenko, G.A. Kostyukovich, A.I. Mamonchik // Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials. - IHSE: Kiev. – 2003. – pp. 872-875. **9.** Карданные передачи: конструкции, материалы, применение. / Г.А. Костюкович, В.И. Кравченко, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Минск: Тэхналогія, 2006. – 409 с. **10.** Тарасов С.Г., Годовский Ю.К. Структура и механические свойства будадиевстирольных термоэластопластов. Пластические массы. – 1981. – № 5. – С. 34–35. **11.** Райт П., Камминг А. Полиуретановые эластомеры //Под ред. Н.П. Апухтиной. – Л.: Химия.э – 1973. – 304 с. **12.** Мануленко А.Ф. Создание абразивостойких триботехнических материалов на основе бинарных смесей «термопласт-термоэластопласт». Дис. ... канд. техн. наук 05.02.01. – материаловедение (машиностроение). – Гомель. – 1987. – 154 с. **13.** Морозов Ю.Л. Микрочаистые полиуретаны: обзор //Каучук и резина – 1985. – № 2. – С. 42–47. **14.** C.G. Seefried, I.V. Koleske, F.E. Critchfield Thermoplastic Urethane Elastomers V. Compatible and Incompatible Blends with Various Polymers. Polymer Engineering and Science. – 1976. – vol. 16. – N 11. – pp. 771–776. **15.** Гольдаде, В.А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. / В.А. Гольдаде, В.А. Струк, С.С. Песецкий. – М.: Химия, 1993. – 240 с. **16.** Мэнсон, Дж. Полимерные смеси и композиты / Дж. Мэнсон, Л. Сперлинг. Под ред. Ю.К. Годовского – М.: Химия, 1979. – 440 с. **17.** Струк В.А. Трибохимическая концепция создания антифрикционных материалов на основе многотоннажно выпускаемых полимерных материалов. Дис. ... докт. техн. наук 05.02.01. материаловедение (машиностроение). – Минск. – 1988. – 323 с. **18.** Рыскулов А.А. Разработка машиностроительных материалов на основе металлополимеров. Дисс. ...канд. техн. наук 05.02.01. материаловедение в машиностроении (промышленность). – Гомель. – 1990. – 201с. **19.** Кербер М.А. Модифицирование полимерных материалов в ходе их переработки. Пластические массы. – 1971. – № 5. – С. 59–66. **20.** Казале Л., Портер Р. Реакция полимеров под действием напряжений /Под ред. А.Я. Малкина. – Л.: Химия. – 1983. – 440 с. **21.** Ivan G. Reactii mecanochimice la prelucrarea elastomerilor. – Industria usoara. – 1971. – v. 18. – № 5. – pp. 338–350. **22.** Струк В.А., Война А.А., Структура композиционных материалов на основе механических смесей термопластов. Пластические массы. – 1985. – № 12. – С. 37–38.

## КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ

**Бутенко В.И., Кочергина О.И.** (кафедра механики ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Для определения различных динамических показателей на разных режимах работы механической системы обычно требуется поставить большое число физических экспериментов, а также оснастить испытательную площадку сложным и обычно дорогим измерительным и регистрирующим оборудованием. Объем работ по подготовке механизма к испытаниям, установка, настройка измерительного оборудования, обработка, изучение полученных результатов – все это значительно, а стоимость таких работ высока. Вместе с тем, при проведении физических экспериментов не всегда возможно измерение всех интересующих динамических показателей, приходится преодолевать проблемы, связанные с погрешностями измерительных приборов, повторяемостью и воспроизводимостью результатов. Кроме того, испытания машин на предельных или не-

штатных режимах, как правило, либо очень дороги в силу дороговизны образцов или оборудования, которые разрушаются, либо опасны, как эксперимент, показанный на рис. 1. Поэтому в настоящее время получили достаточно широкое развитие программные комплексы моделирования кинематических и динамических процессов механических систем различного уровня сложности на основе алгоритмов автоматизированного синтеза уравнений движения исследуемых систем и методов численного решения уравнений. Такими методами и инструментами являются алгоритмы компьютерно-ориентированного автоматического синтеза уравнений движения механических систем, используемые в исследовательской практике.

Известно, что универсальным подходом для исследования движения любого механизма являются уравнения Лагранжа I и II рода, представленные следующим образом:

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{\gamma}{\alpha} \sin \varphi + \frac{g}{2\alpha^2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{g}{2\alpha^2} \varphi - \frac{l}{2} \cos \varphi + \delta, \\y_1 &= -\frac{\gamma}{\alpha} \cos \varphi - \frac{g}{2\alpha^2} \cos^2 \varphi - \frac{l}{2} \sin \varphi + \varepsilon, \\x_2 &= \frac{\gamma}{\alpha} \sin \varphi + \frac{g}{2\alpha^2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{g}{2\alpha^2} \varphi + \frac{l}{2} \cos \varphi + \delta, \\y_2 &= -\frac{\gamma}{\alpha} \cos \varphi - \frac{g}{2\alpha^2} \cos^2 \varphi + \frac{l}{2} \sin \varphi + \varepsilon, \\ \varphi &= \alpha t + \beta,\end{aligned}\tag{1}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i,\tag{2}$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  и  $\varepsilon$  – произвольные постоянные,  $T(q_i, t)$  — кинетическая энергия системы,  $Q_i$  – обобщенная сила.

Однако использование уравнений (1) и (2) в исследовательской практике требует больших затрат времени, создания экспериментального образца и проведения весьма сложной математической обработки полученных результатов. Компьютерно-ориенти-

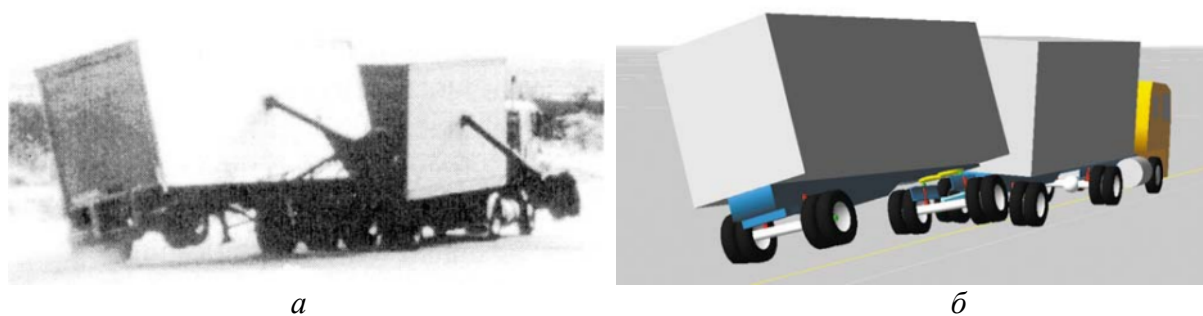


Рис.1. Натурный эксперимент с автопоездом (а) и его компьютерное моделирование (б)

рованное моделирование представляют собой реальную замену физическим натурным экспериментам, поскольку не требует изготовления экспериментального образца. При этом с помощью компьютерного моделирования может быть поставлено любое количество численных экспериментов и получены любые интересные исследователя показатели. Одновременно компьютерные модели, ориентированные на тщательное и всестороннее изучение того или иного явления в машине и механизме, могут быть исполь-



зованы для выявления и устранения возможных неполадок и проблем еще до производства опытного образца или серии, что особенно важно для единичного или мелкосерийного производства.

При компьютерно-ориентированном исследовании движения механизмов производится комплексный анализ кинематики, динамики, прочности и долговечности всех элементов механической системы в последовательности, представленной на рис. 2.



Рис. 2. Этапы проведения исследования кинематических и динамических процессов механических систем

Следует отметить, что проведение исследований любой механической системы путём ее моделирования заключается в пересчёте исследуемых параметров системы при допустимом изменении исходных данных. При этом очень важным является определение типа планируемого эксперимента, факторов и параметров отклика эксперимента и контроль корректности его проведения. Как показывает практика, результаты исследования, полученные при компьютерно-ориентированном моделировании движения машин и механизмов обусловлены правильностью постановки задач исследования и выбором уравнений движения. В то же время при автоматическом синтезе уравнений движения механической системы необходимо определить метод синтеза, задать его параметры и контролировать корректность синтеза уравнений.

По окончании численного моделирования в качестве результатов для дальнейшего анализа могут быть использованы следующие величины:

- кинематические характеристики (траектории, координаты, скорости, ускорения любой точки любого тела, углы поворотов, угловые скорости и угловые ускорения тел, характеристики относительного движения тел);
- силы реакций в шарнирах;
- активные силы (например, силы в пружине, гасителе колебаний, листовой рессоре, гидроцилиндре);
- напряжения и деформации для упругих тел.

В качестве программ для создания механических моделей при компьютерно-ориентированном исследовании движения машин или механизмов могут быть использованы: CATIA, T-Flex, Solid Works, Autodesk Inventor, Pro/E, Matlab/Simulink (UM control), ПК УМ («Универсальный Механизм»), КОМПАС 3D и многие другие.

Однако в практике предприятий машиностроения наибольшее распространение получил программный комплекс «Универсальный механизм», разработанный в научно-исследовательской лаборатории Брянского государственного технического университета и используемый в железнодорожной отрасли. Достоинством этого программного комплекса то, что с его помощью выводятся точно те же уравнения движения, что и при ручном выводе. При этом в рамках одной и той же расчётной схемы отличия аналитического решения от численного решения в программном комплексе «Универсальный механизм» будут только в погрешностях численного метода решения уравнения. Эти погрешности ничтожно малы относительно точности выполненного решения, предъявляемой к инженерным задачам. Поэтому на практике можно считать, что численное решение уравнений на 100% совпадает с аналитическим значением.

На рис.3 приведены динамические модели грохота (*а*) и дробилки (*б*), импортированные из КОМПАС 3D и подвергнутые компьютерно-ориентированному исследованию. Анализ полученных результатов исследований показал, что данные проведенного компьютерного исследования движения моделей грохота и дробилки, выполнен-

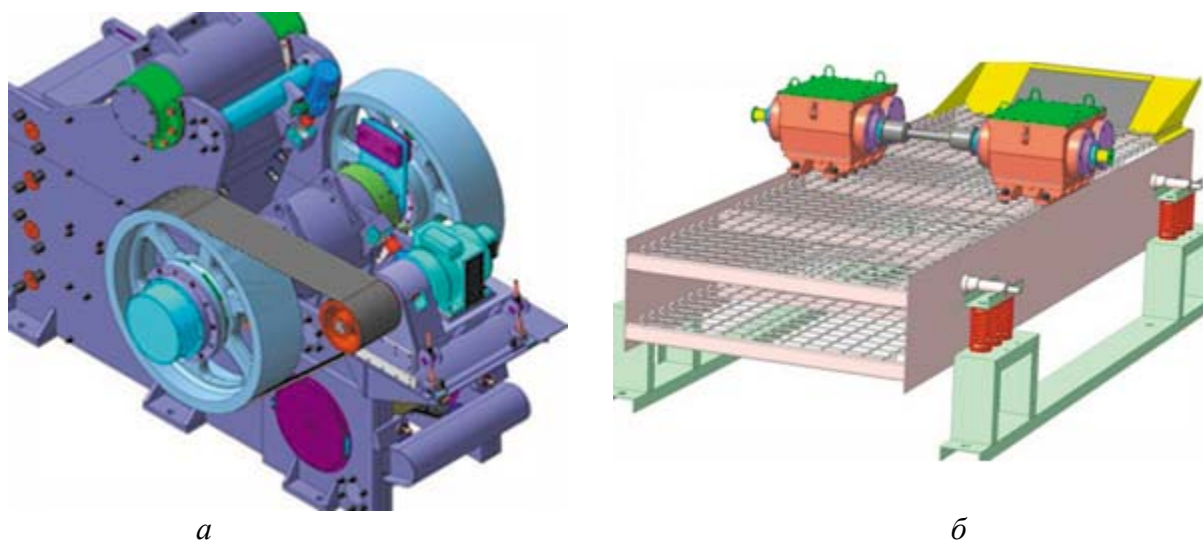


Рис. 3 Динамические модели грохота (*а*) и дробилки (*б*), импортированные из КОМПАС-3D

ные в программном комплексе «Универсальный механизм», количественно и качественно практически полностью совпадают с результатами стендовых испытаний и определяют оптимальные режимы эксплуатации изделий.

Проведение исследований сложной механической системы (например, летательного аппарата) путём её компьютерно-ориентированного моделирования позволяет не только сократить время испытаний, но и избежать при этом ошибок, неизбежных при самостоятельном выводе уравнений движения. Однако при автоматическом синтезе уравнений движения любой механической системы необходимо определить метод синтеза, задать его параметры и контролировать корректность синтеза уравнений в процессе компьютерно-ориентированного моделирования. Поэтому задачи составления оптимальных математических моделей различных физических явлений и механических систем в целом, а также составления оптимальных алгоритмов решения различных систем уравнений является первостепенными при проведении компьютерно-ориентированного моделирования движения машин и механизмов.

Точность результатов исследований, проведённых по представленному алгоритму (рис.2) с применением вычислительной техники со специализированным программным



---

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

---

обеспечением достаточно высокая; относительная ошибка не превышает 5-10%, что не превышает допустимую инженерную ошибку. При исследовании кинематики и динамики сложных механических систем с большим числом степеней подвижности компьютерно-ориентированное моделирование позволяет сократить время и избежать ошибок в установлении параметров движения, неизбежных при проведении соответствующих испытаний на стендах.

Важнейшей особенностью представленного компьютерно-ориентированного моделирования движения механических систем является возможность уже на стадии испытания опытных образцов изделий вносить изменения не только в конструкцию машины или механизма, но и корректировать технологический процесс изготовления отдельных деталей или узлов, используя для этого, например, CAL/CAM/CAE системы для расчёта управляющих программ для станков с ЧПУ [4]. Как известно, такие специализированные программные комплексы могут использоваться как автономно, так и включаться в состав универсальных систем, которые предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, анализа, производства и испытания продукции машиностроения.

Таким образом, в сравнении с натурными экспериментами компьютерно-ориентированное моделирование очень полезный инструмент, который обеспечивает всесторонний, рентабельный и безопасный анализ динамики любых механических систем. Это дает возможность с минимальными затратами времени и финансов подвергать тщательному исследованию как действующие, так создаваемые машины, в том числе, проверять совершенно новые идеи и решения.

**Список литературы:** 1. Сотников А.Л. Компьютерно-ориентированный автоматический синтез уравнений движения механических систем // *Металлургические процессы и оборудование* -2007, №23(9).- С. 34-52. 2. Программный комплекс «Универсальный механизм». Руководство пользователя.- Брянск: Лаборатория вычислительной механики БГТУ, 2006.- 607 с. 3. Ефимов Г. Б., Погорелов Д.Ю. Решение некоторых модельных задач с использованием программного комплекса «Универсальный механизм».- М.:ИМП,1993.- 24с. 4. Бутенко В.И. Технологическое обеспечение конкурентоспособности изделий авиастроения (авторский курс). – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 295 с.

## **КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНАХ С ОТВЕРСТИЕМ**

**Захарченко А.Д., Бокий И.А.**

*(кафедра Механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что в области резких изменений в форме упругого тела (углы, отверстия, выточки и др.), а также в зоне контакта деталей возникают повышенные напряжения с ограниченной зоной распространения, так называемые местные напряжения. Оценивать эти местные напряжения рекомендуется теоретическим коэффициентом концентрации, величина которого определена для многих типовых конструктивных элементов (например, для полосы с отверстием). Значения теоретического коэффициента концентрации напряже-

ний практически не зависит от уровня номинальных напряжений и физико-механических свойств материала, а определяется геометрией рассматриваемого элемента, способом нагружения и относительными размерами зон концентрации.

В теории упругости дается решение для растянутой пластинки, ослабленной отверстием, в окрестности которого имеет двухосное напряженное состояние.

Так как теоретический коэффициент не всегда определяет фактическое снижение прочности (необходимо ещё учитывать свойства материала, термообработку, технологические факторы и др.), то вводится понятие эффективного коэффициента концентрации напряжений. Он определяется как отношение предела выносливости (или предела прочности) гладкого полированного образца к пределу выносливости (пределу прочности) образца с концентратором напряжений.

В конструкциях самолетов и вертолетов из алюминиевых и титановых сплавов, коррозионно-стойких сплавов и композитных материалов применяют заклепочные и болтовые соединения. Статистические данные показывают, что до 80% разрушений происходит в зоне соединений. Отверстия под заклепки и болты ослабляют рабочее сечение, они становятся концентраторами напряжений, снижают статическую прочность и сопротивление усталости конструкции. Отмечается, что отверстие представляет собой концентратор напряжений с коэффициентом концентрации около трех [1].

Напряжение растяжения в сечении листа, ослабленного отверстием под заклепки должно удовлетворять условию (рис.1)

$$\sigma = \frac{F_1}{(b-d) \cdot \delta} \leq K \sigma_B,$$

где:  $F_1$  – нагрузка, приходящаяся на одну заклепку;  $K$  – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений вокруг отверстий, для листов из сплавов *Д16АТ*, *В95АТ*, *Д19* и *МА1* рекомендуется принимать  $K = 0,94$ .

При длительных повторно-переменных нагрузках, что особенно характерно для авиационных конструкций, разрушающие напряжения снижаются до половины и более от статических и проявление концентрации напряжений (конструктивные, технологические факторы) еще более заметно

Расчету соединений с натягом, элементы которых выполнены из различных материалов, посвящено значительное число работ, однако в конкретных случаях не все рекомендации по учету концентрации напряжений могут быть объективно достаточными.

Теоретические исследования деформированного и напряженного состояния пластин с отверстием, заполненных стержнем или болтом показали, что ресурсные характеристики соединения в большой степени зависят от осевого и радиального натягов и параметров соединения, определяющих концентрацию напряжений.

Осевой натяг (или затяжка) соединений существенно влияет на усталостную долговечность. При увеличении затяжки происходит увеличение усталостной долговечности вследствие создания больших сил трения по контактным поверхностям и уменьшения концентрации напряжений около отверстий под болты. Однако, при чрезмерном увеличении затяжки может произойти срез резьбы и разрушение соединения по болту [1].

Выполнение соединений с большим радиальным натягом приводит к созданию в зоне отверстий больших остаточных напряжений сжатия. Возникновение знакопеременных напряжений в расчетном сечении возле отверстия приводит к усталостному разрушению пластины [1].

В работе [3] обзорного характера рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования работоспособности соединений с натягом с учетом concentra-

ции напряжений. В частности, отмечается, что недостаточно теоретических данных о концентрации напряжений в зависимости от геометрических параметров соединений, что затрудняет их использование в практических расчетах.

Теоретические решения для определения концентрации напряжений из-за сложности получены только для некоторых задач. С применением ЭВМ этот вопрос решается успешно для многих очагов концентрации напряжений и с достаточной для практических целей точностью. Во многих случаях для определения характера распределения напряжений возле источника концентрации и коэффициента концентрации применяются различные экспериментальные методы.

Использование ЭВМ позволяет рассчитать несколько вариантов посадок с учетом вероятностного распределения размеров деталей по полю допуска, проанализировать влияние шероховатости контактирующих поверхностей, коэффициентов жесткости деталей в зависимости от их конструкции и размеров [2].

В работе [3] рассматриваются теоретические оценки напряженного состояния материала пластины в зоне постановки болтов или заклепок с определенным натягом.

Теоретические зависимости получены при рассмотрении пластины, подверженной однородному растяжению распределенной нагрузкой в направлении длины пластины и напряжений, вызванных посадкой заклепки (или болта) с натягом.

Полученная зависимость имеет вид

$$\sigma_r = \frac{X \cdot \cos \theta}{\pi \cdot (1 + k) \cdot R_0 \cdot \rho} \cdot \left( \frac{1 + k}{2} + \frac{k - 1}{2 \cdot \rho^2} \right) - \frac{2 \cdot \mu \cdot \Delta}{R_0 \cdot \rho^2}.$$

В этой формуле:  $X$  - компонента главного вектора сил, приложенных к центру болта;  $k$  - постоянная для обобщенного плоского напряженного состояния;  $\mu$  - постоянная, учитывающая модуль упругости и коэффициент Пуассона материала;

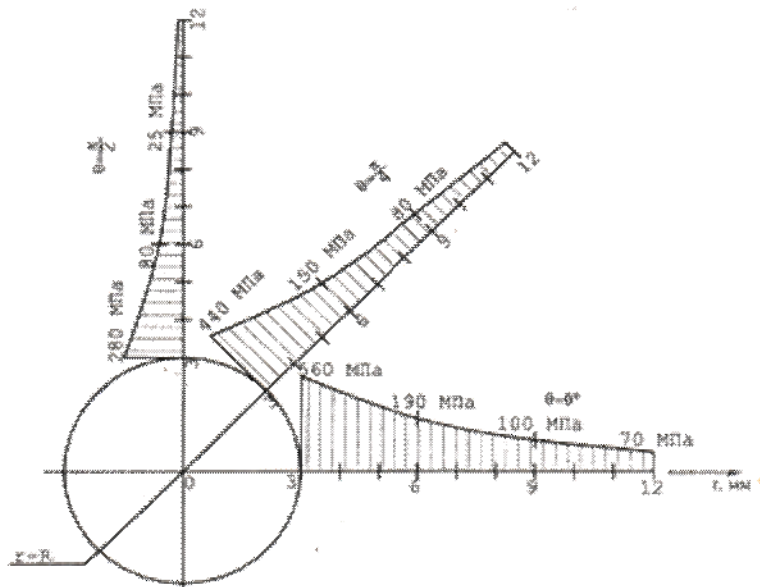


Рис. 1. Распределение радиальных напряжений вокруг отверстия при натяге  $\Delta = 0,15$  мм

равными 130 МПа, то анализ зависимостей показывает, что коэффициент концентрации лежит в пределах 2...4.

На рис.1 приведен характер распределения радиальных напряжений вокруг отверстия при натяге  $\Delta = 0,15$  мм и по мере удаления от отверстия. На расстоянии  $r = 3R_0$  при величине натяга 0,011 мм они имеют значение  $\sigma_r = 100$  МПа, а при  $\Delta = 0,034$  мм – 250 МПа. От величины натяга радиальные сжимающие напряжения изменяются линейно (рис.2).

Если принять за номинальные напряжения для поддерживающих швов и материала Д16АТ

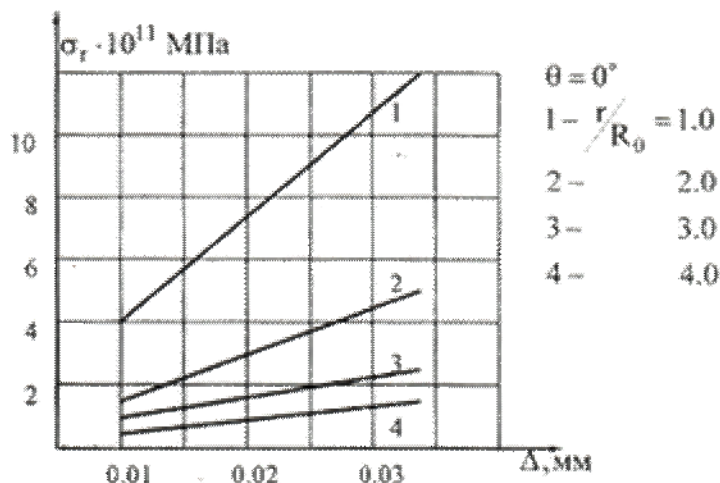


Рис.2. Зависимость радиальных напряжений от величины натяга и отношения  $r/R$

**Список литературы:** 1. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов/ А.И. Ярковец, О.С.Сироткин, В.А.Фирсов, И.М.Киселев. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с. 2. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. – М.: машиностроение, 1989. – 496 с. 3. Семенов-Ежов И.Е. Проблема концентрации напряжений в соединениях с натягом./ Вестник машиностроения. 2001. № 4. С.37 – 40. 4. Захарченко А. Д. Исследование напряженного состояния заклепочных (болтовых) соединений. Материалы четвертого международного научно-технического семинара « Практика и перспективы развития институционального партнерства», т.2. Донецк-Таганрог, 2003. – с.36 – 43.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ\*

Ладоша Е.Н., Пугачев А.Д., Цымбалов Д.С. (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Авторами работ [1,2] прогнозировалась возможность создать СО<sub>2</sub>-лазер с накачкой излучением черного тела. Вследствие низкой эффективности радиационной накачки газовой рабочей среды в полосе поглощения 4.3 мкм. КПД такого лазера не превышает 0.1%. Покрытие источника накачки селективно-излучающими материалами позволяет повысить КПД лазера в четыре раза [3]. Повысить КПД таких лазеров можно оптимизацией параметров рабочей смеси.

В данной работе предлагаются: 1) достаточно подробная информационная модель лазерной среды, 2) способ выделения минимальной (каркасной) модели для вычисления инверсной населенности. В качестве конструкции и лазерной среды выбраны изображенные на рис. 1. Поперечный размер камеры с рабочей средой  $x$  равен 1 см, температура металлической пластины – источника накачки 1000 К. Генерация осуществляется на переходе  $\text{CO}_2(00^0_1) \rightarrow \text{CO}_2(10^0_0)$  (полоса 10.6 мкм), накачка – на переходе

\* Работа выполнена при поддержке Фонда ALCOA.

Diagram illustrating the energy level scheme and laser transition for a laser resonator.

**Resonator Diagram (Left):** A rectangular block is shown with a central cavity of length  $x$ . The block is labeled with 1, 2, 3, and 4, indicating different components or regions.

**Energy Level Scheme (Right):**

- Top Level:**  $00^{01}$  at  $2349 \text{ cm}^{-1}$ . A transition labeled  $V-V$ -обмен  $\nu = 0$  leads to the  $00^{00}$  level at  $2331 \text{ cm}^{-1}$ .
- Intermediate Levels:**
  - $11^{10}$  at  $2077 \text{ cm}^{-1}$
  - $03^{10}$  at  $1933 \text{ cm}^{-1}$
  - $10^{00}$  at  $1388 \text{ cm}^{-1}$
  - $02^{00}$  at  $1286 \text{ cm}^{-1}$
  - $01^{10}$  at  $668 \text{ cm}^{-1}$
- Bottom Level:**  $00^{00}$  at  $0 \text{ cm}^{-1}$ , corresponding to  $\text{CO}_2(\nu_1)$ ,  $\text{CO}_2(\nu_2)$ , and  $\text{CO}_2(\nu_3)$ .
- Transitions:**
  - A laser transition (Лазерный переход) is indicated between the  $10^{00}$  and  $02^{00}$  levels, with a wavelength of  $10.6 \text{ мкм}$ .
  - A pumping transition (Накачка) is indicated between the  $01^{10}$  and  $02^{00}$  levels, with a wavelength of  $4.3 \text{ мкм}$ .

Константы скоростей всех элементарных процессов, показанных на рис. 1, приведены в [5]. Функция источника  $\text{CO}_2(00^01)$  определяется на основании закона сохранения энергии: составляется уравнение переноса излучения в селективно поглощающем газе применительно к геометрии установки (см. рис. 1).

Компьютерное исследование радиационно-кинетической модели лазера с рассмотренной номенклатурой процессов [5] свидетельствует о структурной устойчивости общей постановки: физическим объяснением этого факта служит сходство кинетических подсистем, образованных в результате снятия вырождения – за счет слабой связанности движения электронов и ядер в молекуле углекислоты.

С целью упростить описание лазерной среды в работе [5] предложена эмпирическая упрощенная модель, в основе которой использовали следующие предположения: 1) кинетика накачки определяется населенностями только двух уровней – основного  $00^0_0$  и верхнего лазерного  $00^0_0$ ; 2) прочие внутренние состояния  $\text{CO}_2$  подвержены быстрому колебательному обмену и термализованы; 3) столкновительные переходы между состояниями  $00^0_0$  и  $00^0_1$  происходят как напрямую – в обратимой реакции второго порядка, так и через промежуточные состояния – в обратимой реакции пятого порядка; 4) радиационная накачка является необратимым процессом, а ее скорость  $I W_p$  определяется эквивалентной шириной поглощения  $W_p$  в 4.3 мкм полосе  $\text{CO}_2$  и спектральной интенсивностью источника  $I$ .

В развитие аналитических результатов [5] авторами последовательно выведена теоретическая формула для инверсной населенности: практически в реалистичном приближении аналитически решена система уравнений поуровневой кинетики. Результат её решения совпадает с полученным в работе [5] полуэмпирическим:

$$\Delta N = \frac{250IW_p}{\frac{IW_p}{c} + 170(c + c_w) + 1.25 \cdot 10^{25} e^{-350/T^{1/3}} c^4}, \quad (1)$$

где  $c \equiv P_{\text{CO}_2}$  и  $P_{\text{N}_2 + \text{He}}$  – давление углекислого и ушляющего газа соответственно, Торр;  $c_w \sim 1$  Торр – давление лазерной среды, ниже которого доминирующую роль в расселе-нии уровня  $\text{CO}_2(00^0_1)$  играют соударения возбужденных частиц со стенками камеры.

На основании этой точной формулы можно определить оптимальные параметры рабочей смеси как решение классической оптимизационной задачи. Соответствующий результат хорошо согласуется с полученным в работе [5] методами стохастической оп-тимизации и выражается оптимальными значениями концентраций и температуры:

$$[\text{CO}_2] = 0.3 \text{ Торр}, \quad [\text{N}_2] = 0.02 \text{ Торр}, \quad [\text{He}] = 1.68 \text{ Торр}, \quad T \leq 300 \text{ К}. \quad (2)$$

Инверсия в таких условиях составляет  $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ : доля  $\text{CO}_2$  в состоянии  $00^0_1$  близка к 1%, что на 3 порядка превышает равновесное значение.

Таким образом, при помощи предложенной минимальной модели маломощного  $\text{CO}_2$ -лазера с накачкой тепловым излучением аналитически определены оптимальные физико-химические параметры рабочего тела. Результат совпал с данными численной оптимизации на основе детальной модели с погрешностью порядка 20 %.

**Список литературы:** 1. Бохан П.А. // Оптика и спектроскопия. 1969. Т. 26. № 5. С. 773-779. 2. Бохан П.А. // Оптика и спектроскопия. 1972. Т. 32. № 4. С. 826-827. 3. Колтун М.М. Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии. М., 1979. 4. Давлетшин Р.Ф., Яценко О.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Ест. науки. 1995. №. 4. 5. Ладоса Е.Н., Соболев Б.В., Яценко О.В. Исследование кинетики в рабочей среде маломощного  $\text{CO}_2$ -лазера посредством компьютерного моделирования / В кн. Информационные технологии в интеграции науки, образования и производства. Ростов н/Д.: Изд-во ДГТУ, 2004.

## ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

**Масюков И. И., Борзов Д.Б., Соколова Ю.В. (ЮЗГУ, Курск, Россия)**

Мультикомпьютер – сложная и большая вычислительная система, которая со-стоит из множества процессоров и процессорных связей. В случае выхода из строя процессора или процессорных связей необходимо быстрое возобновление работоспо-собности системы. Достигается это путем отключения неисправных процессоров и об-хода неисправных процессорных связей. В современных системах данная проблема решается путем полного копирования мультикомпьютера резервным и при выходе из строя одного из компонента он заменяется из резерва.

Рассмотрим решение данной задачи на примере. Допустим у нас есть мульти-компьютер, описание связей которого представлено на рисунке 1.



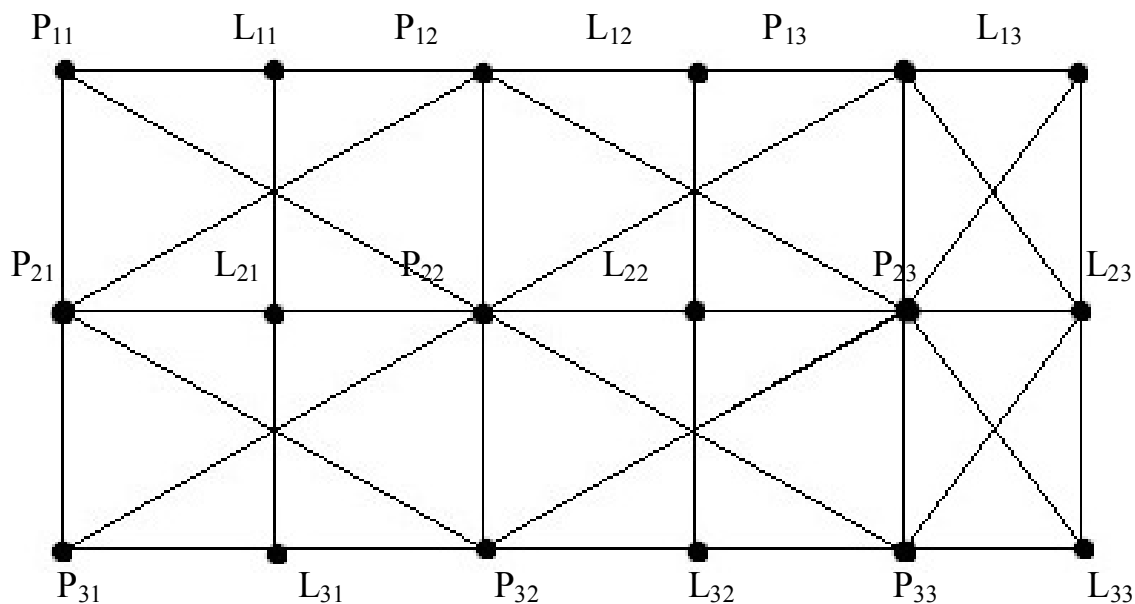


Рис. 1. Пример описания мультикомпьютера

Буквами  $P_{ij}$  ( $i=1\ldots 3; j=1\ldots 3$ ) обозначены основные процессоры, буквами  $L_{ij}$  ( $i=1\ldots 3; j=1,2$ ) резервные процессоры. Причем мы считаем, что у нас есть два подмножества  $P$  и  $L$ .

Допустим, у нас отказал узел  $P_{21}$ . Тогда необходимо найти ближайший резервный узел и использовать его вместо неисправного узла. Поиск осуществляем по следующему алгоритму:  $L$

1) Если отказал  $p_{ij}$  ( $i=\overline{1,n}, j=\overline{1,n}$ ), то  $l_{s,t}$  ( $s=\overline{1,n}, t=\overline{1,n}$ ):  
 $(|i-s| \rightarrow \min) \& (|j-t| \rightarrow \min)$ ;

2) Если найден:  $l_{s,t} = p_{ij}$  то конец, иначе п.3;

3) Выполнить поиск  $\Leftrightarrow l_{s,t}$  ( $s=\overline{1,n}, t=\overline{1,n}$ ):  $(|i-s| \rightarrow \min) \& (|j-t| \rightarrow \min)$  то конец, иначе сообщение о полной замене  $P$ ;

По данному алгоритму выходит, что ответ  $L_{11}$ .

Другой вариант, когда выходит из строя процессорная связь. В этом случае нам необходимо найти кратчайший путь обхода. Для этого зададим две точки – начальную и конечную. Отказавшую связь отметим как  $k_{ij}$ . в формульной форму это выглядит следующим образом:

Если отказал  $k_{ij}$  ( $i=\overline{1,n}, j=\overline{1,n}$ ):  $p_{q,v}$  начальная точка, а  $p_{q+1,v+1}$  ( $(q=\overline{1,n}; v=\overline{1,n})$ ) – конечная точка;

Далее применяем алгоритм Дейкстры, который и найдет кратчайший путь обхода.

В дальнейших исследованиях планируется построение программной модели данной задачи с последующим ее аппаратным воспроизведением.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (проект 2012-1.2.1-12-000-2005-5368).

**Список литературы:** 1. Борзов Д.Б., Соколова Ю.В., Масюков И.И. Алгоритм перемещения программ в отказоустойчивых компьютерах. Сборник трудов XVIII

Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века. Т1». – Донецк, 2012. – С. 90-93.

## ВОЗМОЖНОСТИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОГРАММ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОМПИЛЯЦИИ ДЛЯ МНОГОЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОРОВ

Миронов Д.А., Борзов Д.Б. (ЮЗГУ, Курск, Россия)

В современном мире всё больше и больше внимания уделяется ЭВМ с многоядерной архитектурой. Первый двоядерный процессор в мире был анонсирован в 1999 году (IBM Power 4 для серверов). Намного позже, лишь в мае 2005 года, Intel выпустила процессор Pentium D архитектуры x86-64, ставший первым двоядерным процессором, предназначенным для персональных компьютеров [1]. Массовое же распространение многоядерная техника получила не так давно, но многоядерные процессоры используются не только в настольных ПК и ноутбуках, но и в планшетах и даже телефонах. Проблема в том, что имеется не так много софта, который мог бы полностью использовать возможности всех ядер, а если такое ПО и есть, то оно не даёт полноценный прирост в несколько раз, а увеличивает его, как правило в некоем процентном соотношении. Несомненно всё это зависит от успешности оптимизации кода, разделения его на простые задачи, которые ядра могут рассчитывать параллельно. Например, такое приложение как WinRAR – очень хорошо оптимизировано для большого количества ядер. Многие программы для монтажа видео, обработки звука также выдают хорошие результаты. Это связано с тем, что выполняются как правило похожие инструкции, поэтому если хотим добиться хорошей работы софта на нескольких ядрах, его нужно оптимизировать должным образом. Примером неоправданного использования нескольких ядер можно назвать мобильную ОС производства Google «Android», как это отметила Intel [2]. Уже есть и двоядерные, и четырёхядерные устройства, но по сути использование нескольких ядер здесь – это просто маркетинговый ход. Да, прирост несомненно есть, но как правило он неоправдан. Факт состоит в том, что если мы хотим добиться быстрой работы приложения, то нам нужно разбивать задачу на много независимых друг от друга действий, каждое из которых будет выполнять отдельное ядро.

Процесс компиляции программ тоже можно распараллелить. Во многих IDE уже введена возможность параллельной компиляции, например QtCreator, Microsoft Visual Studio 2008 и её старших версиях. Также процесс компиляции можно распараллелить на «железном» уровне, применяя специальные устройства, которое будет искать независимые друг от друга операторы в коде и передавать их на разные ядра. Одно из таких устройств рассматривается в статье Борзова Д. Б. «Устройство обеспечения распараллеливающей компиляции последовательных программ для вычислительных систем» [3]. Это специализированное устройство подключается к системной шине хост-процессора по интерфейсу ввода-вывода GPIO16. Все вычисления идут в блоках F1-F4, каждый из которых содержит память для сохранения инструкций, поступающих от микропроцессорного ядра.

Именно параллельные вычисления и являются ключевой особенностью многоядерной архитектуры. Для оправданного же использования распараллеливания необходимо создавать эффективное ПО, эффективные ОС.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (проект 2012-1.2.1-12-000-2005-5368).

**Список литературы:** 1. Научно-образовательный центр «Параллельные вычисления» <http://www.parallel-compute.ru/> 2. Отзывы Intel об ОС Android <http://www.droidnews.ru/intel-uveryeny-v-neeheffektivnosti-mnogoyadernyh-processorov-pod-android> 3. Борзов Д. Б., Дюбрюкс С.А. Устройство для формирования матрицы неполного параллелизма / Патент РФ №2421804, БИ №17, заявка №2009105570/08, опубликовано 20.06.2011

## ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ QNX

**Николаев В.В., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.**  
(кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

В 1980 году Гордон Белл и Дэн Додж разработали основу ядра, способного работать в реальном времени и создали компанию Quantum Software Systems, а в 1982 году была выпущена первая версия ОС (операционной системы) QNX, работающая на платформе Intel 8080, названная Qunix (Quick UNIX–Быстрый Юникс).

По требованию корпорации AT&T, которая владела на тот момент торговой маркой UNIX, операционную систему пришлось переименовать в QNX, а уже в девяностых годах сама компания решила сменить название на QNX SoftwareSystems, или сокращенно – QSS. Спустя несколько лет после появления этой ОС была выпущена новая версия - QNX2, а еще через 10 лет (в середине 90-х) вышла QNX4. В ней было полностью переписано ядро с целью совмещения ОС со стандартом POSIX. Благодаря этому на неё перенесли X WindowSystem и программы для Unix, а также в ней появилась встроенная графическая система PhotonmicroGUI.

В 2001 году была выпущена QNX6 (версия Neutrino). Сохранив многоядерную структуру, эта система уже максимально совместима с NetBSD и Linux, кроме того QNXсоответствует новой редакции стандартов POSIX. Последняя версия этой встраиваемой ОС – QNX 6.5, которая доступна клиентам QSS и поставляется со средой разработки Momentics, базирующейся на Eclipse. Такая среды предназначена для создания в различных устройствах целевых систем.

### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Те операционные системы, к которым привык рядовой пользователь, имеют монолитное ядро и являются большой программой с множеством подсистем. В QNX деятельность системы осуществляется самими запущенными процессами, при этом между системными программами и любыми пользовательскими нет особой разницы. Все процессы равноправны и могут быть оставлены или запущены в любой момент времени, а ядро представляет собой небольшую программу (в QNX 4 ее объем 8 Кб, в шестой версии – 20-30 Кб), написанную на ассемблере. Программа-ядро в основном планирует процессы и обеспечивает их взаимодействие.

Благодаря такой архитектуре, при отказе одного из процессов, прекращение работоспособности системы крайне маловероятно. Подобные этой ОС относят к микроядерным, но у этих систем есть большой недостаток – рост накладных расходов при переключении между процессами. Однако специалисты считают этот недостаток не играющим определяющей роли.

В QNX, как в системах реального времени программы должны выдавать результат, строго опираясь на заданный промежуток времени, что позволяет использовать ее в тех отраслях, где выполнение автоматизированных заданий и действий имеет четкое временное расписание.

### **СОСТАВ QNX6**

У некоторых новых пользователей QNX может вызвать недоумение состав и компоненты QNX6. За те десять лет, что QNX6 доступен пользователям, применялись различные варианты поставки QNX. Сейчас используется упрощённая и наиболее удачная схема поставки, и QNX 6.5.0 состоит из следующих двух основных компонентов:

- QNX Neutrino — включает в себя микроядро (даже набор микроядер), драйверы, утилиты, графическую среду и т.д. для поддерживаемых аппаратных платформ (x86, MIPS, PowerPC, ARM, SH4).
- QNX SDP (SoftwareDevelopmentPlatform) — включает в себя среду разработки Momentics IDE на базе Eclipse, компиляторы, заголовочные файлы и библиотеки для разработки, а также QNX Neutrino.

Необходимо отметить, что QNX SDP доступен для Windows и Linux платформ. Официально поддерживаются только несколько дистрибутивов Linux, но на практике требуется не так и много, по большому счёту, только современная Java.

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ QNX NEUTRINO**

В дистрибутив QNX6 входят помимо микроядра и драйверов ряд консольных утилит, как специфичных для QNX, так и общих для всех UNIX-подобных систем. Помимо этого присутствует графическая подсистема на базе Photon 2.0. Это самостоятельная графическая среда, которая не совместима ни с Windows, ни с X-Window. Однако, существует системный сервис XPhoton, который позволяет запускать графические приложения использующие X-протокол.

Для QNX6 доступны и другие графические среды, которые основаны на технологиях AdobeFlashLite 3 (доступен отдельно) или Qt/Embedded (на данный момент в Foundry27 доступна версия 4.7.1).

Помимо всего прочего QNX поддерживает систему управления пакетами NetBSDPackagesCollection, в которой доступно большое количество ПО с открытым исходным кодом как в виде собранных бинарных пакетов, так и в виде скриптов для сборки.

### **ТИПЫ ЛИЦЕНЗИЙ QNX6**

QNX — это коммерческая ОС, для установки которой требуется лицензия. Существуют различные виды лицензий QNX6:

- коммерческая лицензия предполагает покупку ОСРВ QNX6 у дистрибьютора. Это необходимо делать в случае коммерческой разработки устройств или ПО на базе QNX;
- академическая лицензия предоставляется вузам для обучения студентов и работы преподавателей;
- пробная лицензия (на 30 дней) позволяет ознакомиться с полнофункциональной версией QNX и средой разработки, чтобы оценить целесообразность приобретения ОСРВ;
- некоммерческая лицензия позволяет работать с QNX и вести некоммерческую разработку.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ QNX

QNX это в первую очередь операционная система для построения встраиваемых систем. Но одной из основных особенностей QNX является модульность и, как следствие, масштабируемость. Благодаря этому QNX может применяться и в миниатюрных контроллерах, и в настольных компьютерах. А прозрачная сеть QNX позволяет строить производительные сетевые кластеры.

Обычно операционная система реального времени QNX применяется там, где требуется высокая надёжность системы: медицинская техника, военная техника и вооружение, нефтегазовая и металлургическая промышленность и т.д. В конце прошлого десятилетия QNX стал развиваться в сторону поддержки мультимедиа технологий, что способствовало появлению проекта QNX Car, а также планшетного ПК BlackBerryPlayBook.

### ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ QNX

В 1982 году QNX попала под запрет комитета СОСОМ как технология двойного назначения. Этот запрет был снят в 1990 году, однако жёсткая политика лицензирования привела к тому, что в странах Восточного блока система не получила широкого распространения.

На сегодняшний день единственным ограничением на широкое использование QNX является высокая стоимость лицензии и сильная зависимость от QNX SoftwareSystems в плане лицензирования разработанного программного обеспечения. Но, тем не менее, она занимает лидирующую позицию среди ОС реального времени на платформе ПК.

#### Примеры применения QNX за рубежом

Наиболее ярким примером применения QNX является работа с кредитными карточками VISA во всех региональных офисах Северной Америки.

Управление дорожным движением. В канадском городе Оттава-Карлтон на базе QNX разработана система управления движением городского муниципального транспорта. Эта система объединяет около 700 светофоров и 3000 придорожных датчиков на протяжении 1100 километров шоссе. Пропускная способность этих шоссе — 5,4 млрд автомобилей в год. Кроме времени и продолжительности переключения сигналов светофоров на каждом перекрёстке города данная система управления должна фиксировать происходящие события, анализировать работоспособность оборудования через придорожные датчики.

Управление ядерным реактором. Одно из отделений канадской компании AtomicEnergyofCanada, которая известна как разработчик, производитель и продавец ядерных реакторов, специализируется на разработке программных продуктов по управлению и мониторингу. На основе QNX этим отделением разработана система управления ядерным реактором, которая называется «Распределённая система управления с открытой архитектурой» (OpenArchitectureDistributedControlSystem).

На март 2009 года решения на базе QNX лицензированы для использования на более, чем 10,1 миллионах единиц техники от практически всех ведущих производителей автомобилей.

#### Примеры применения QNX в России и СНГ

Как правило, это системы в промышленности, которые управляют довольно сложным и ответственным производством с очень высокими требованиями по времени реакции на аварийные ситуации, требованиями к надёжности и непрерывности управления.

Наиболее известным применением QNX в России является система автоматизированного контроля и управления разводкой Троицкого моста через Неву в Санкт-Петербурге, реализованная ЗАО НПП «Промтрансавтоматика». Эта система эксплуатируется с апреля 2002 года. После реконструкции мост ни разу не выбыл из графика разводки.

Система управления северными магистральными нефтепроводами, расположенная в Ухте. Система включает в себя шесть операторских мест с горячим резервированием, которые выполняют управление одновременно по четырём направлениям магистрального нефтепровода на участке Ярославль-Ухта (протяжённость 1500 км).

Система «Сириус-QNX», предназначенная для оперативного диспетчерского контроля и управления технологическим процессом перекачки нефти по участкам восьми магистральных нефтепроводов ОАО «Сибнефтепровод». Общая протяжённость системы нефтепроводов в одноконтурном исполнении составляет 3696 км.

Система автоматизации станов холодной прокатки на базе QNX внедрена на 5-клетевом стане Магнитогорского металлургического комбината. Системы управления металлургическим производством на базе QNX работают в Норильске, Нижнем Тагиле, Электростали.

Информационно-управляющая система компрессорного цеха газоперекачивающего предприятия, внедряется на объектах предприятия ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», входящего в ОАО «Газпром». В настоящее время система внедрена в Моркинском ЛПУ МГ, Вятском ЛПУ МГ, Вязниковском ЛПУ МГ и Владимирском ЛПУ МГ, КС «Вязники».

Многоканальные, информационно-управляющие комплексы огневых стендовых испытаний узлов ракетных двигателей, выполненные на QNX 6 и программном продукте Octavo.

Таким образом, QNX представляет собой встраиваемую операционную систему реального времени для ответственных применений. Благодаря архитектуре на основе микроядра, защите памяти процессов и встроенным механизмам отказоустойчивости, QNX обеспечивает прочный фундамент для высоконадежных систем, требующих безотказной работы в непрерывном режиме. Широкая поддержка стандартов POSIX обеспечивает QNX гибкую расширяемость за счет переноса готового кода из других операционных систем; в сочетании с сертифицированными версиями ядра и поддержкой высокой готовности это позволяет разрабатывать на базе QNX системы широчайшей функциональности, обеспечивая при этом высокую надежность, безопасность и качество обслуживания.

**Список литературы:** 1. Зыль С. Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2010. 2. Роб Кертен. Введение в QNX Neutrino 2. Руководство для разработчиков приложений реального времени. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005. 3. Дорогов А.Ю. Синхронизация и взаимодействие программных потоков в операционной среде реального времени: Учебное пособие. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2007.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ  
СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЯ

Полуянович Н.К., Соловьёв М.А. (кафедра ЭиМ ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Кондиционирование обеспечивает автоматическое поддержание необходимых кондиций воздушной среды в салоне автомобиля. Кондиция воздуха включает в себя следующие параметры: температуру, влажность, скорость движения, чистоту, содержание запахов, давление, газовый состав и ионный состав. При проектировании в зависимости от назначения выбирают требуемые кондиции воздушной среды, наиболее важные для конкретных условий их применения [1].

Кондиционирование воздуха обеспечивается применением специальных систем [1]. Под термином системы кондиционирования воздуха (СКВ) подразумевается комплекс устройств, предназначенных для создания и автоматического поддержания в салоне автомобиля величин параметров воздушной среды.

Проектируемые автомобильные СКВ являются комфортными, они должны обеспечить наиболее благоприятные условия для водителя и пассажиров. Работоспособность и самочувствие человека в значительной мере определяются тепловым балансом его организма и наиболее оптимальны в условиях окружающей воздушной среды на уровне теплового комфорта.

**Выбор программы и разработка алгоритма.** Важной задачей проектирования является исследование процесса охлаждения (нагрева) салона автомобиля и влияния происходящих процессов на человека, в работе, была использована программа STAR-CCM+, рис.1.

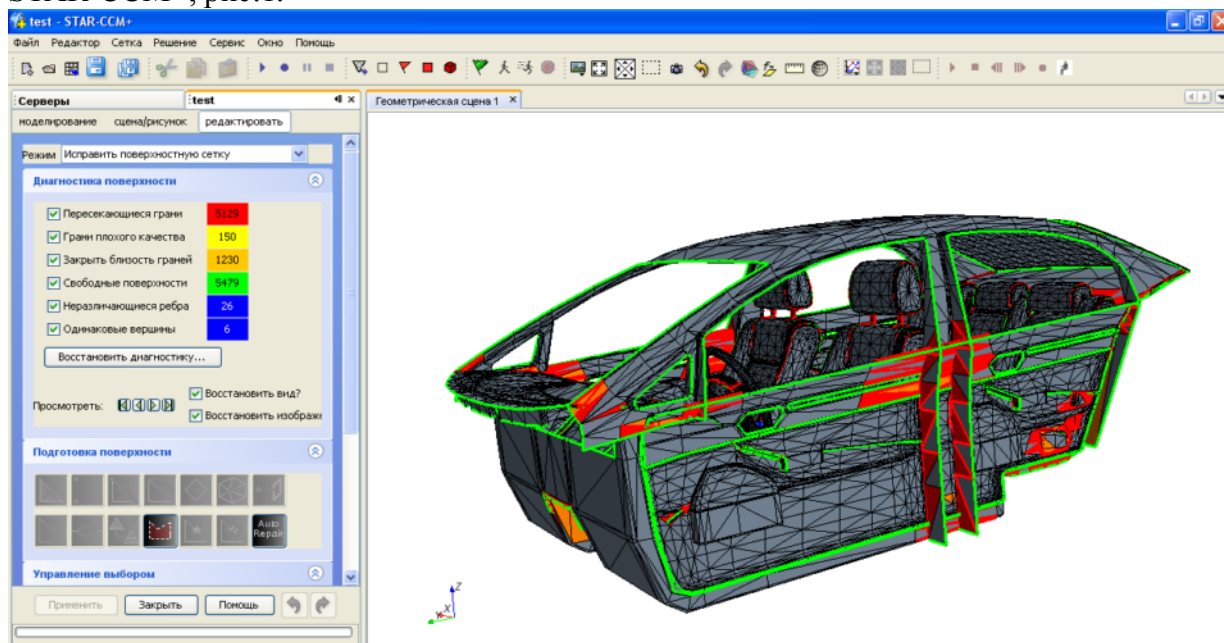


Рис.1. Демонстрация пересечений свободных граней

Комплекс предназначен для решения задач механики сплошных сред и обеспечивает небывалую точность, надежность и гибкость при решении задач вычислительной механики сплошных сред.

В качестве исходного материала была использована высокополигональная трехмерная модель HondaCivic созданная в 3D StudioMax, которая в процессе была доработана до требований программы моделирования. 3D модель имела исходный тип файлов \*.max для импортирования в программу STAR-CCM+, была конвертирована в тип поверхностной сетки \*.stl. Модель для расчета имеет вид рис.1. Для выбора физической модели процессов, которые будут происходить в салоне автомобиля задаются начальные условия для области и границ (рис.1).

В программе STAR-CCM+ области и границы имеют свои свойства в зависимости от того какой способ начальных параметров задан[2].

**Используемые уравнения.** Для моделирования движения воздуха используем уравнение Навье-Стокса:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + (\nu_m + \nu_t) \Delta \vec{V} - \vec{g} \beta T, \quad (1)$$

где  $\vec{V}$  – вектор скоростей;  $P$  – давление;  $t$  – время;  $\nu_m$  – молярная вязкость;  $\nu_t$  – турбулентная вязкость;  $\rho$  – плотность воздуха;  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения воздуха.

**Алгоритм работы система автоматического кондиционирования.** Степень открытия заслонки воздушного смесителя устанавливается по заданным характеристикам. По ним определяется степень открытия, соответствующая вычисленной температуре воздуха на выпуске, рис.2. Регулирование температуры воздуха (от холодного до теплого) обеспечивается изменением состава смеси из охлажденного и нагретого потоков воздуха.

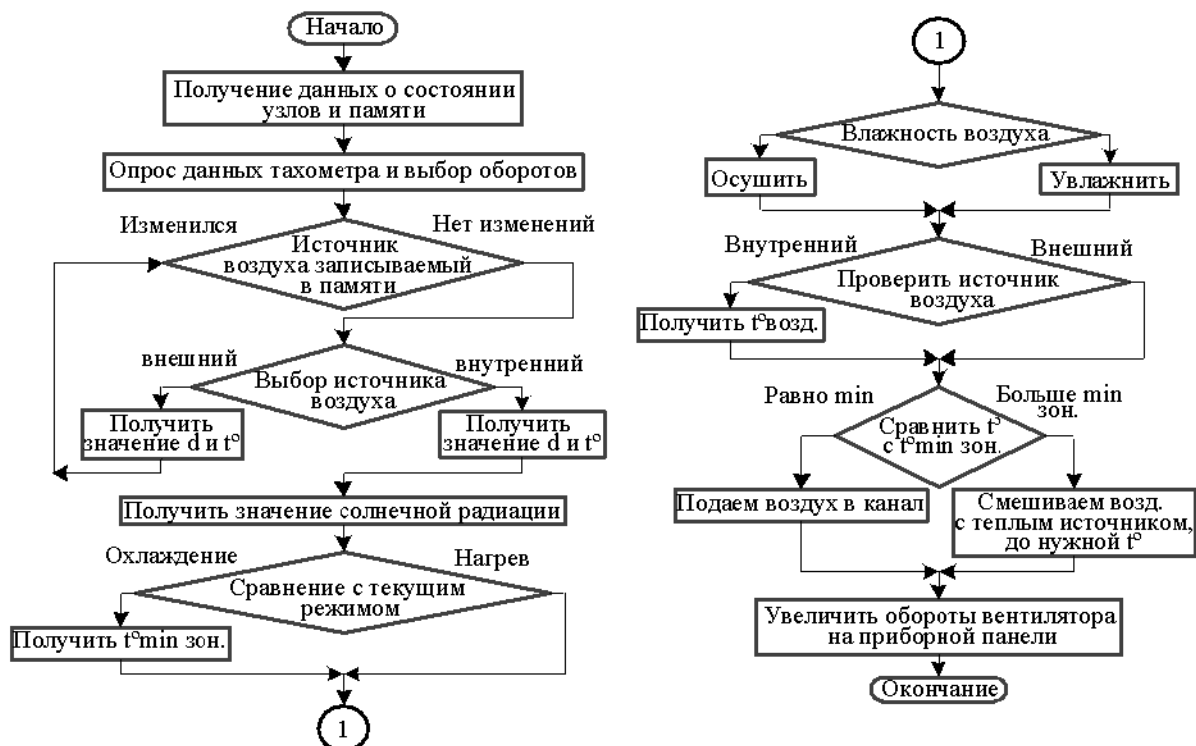
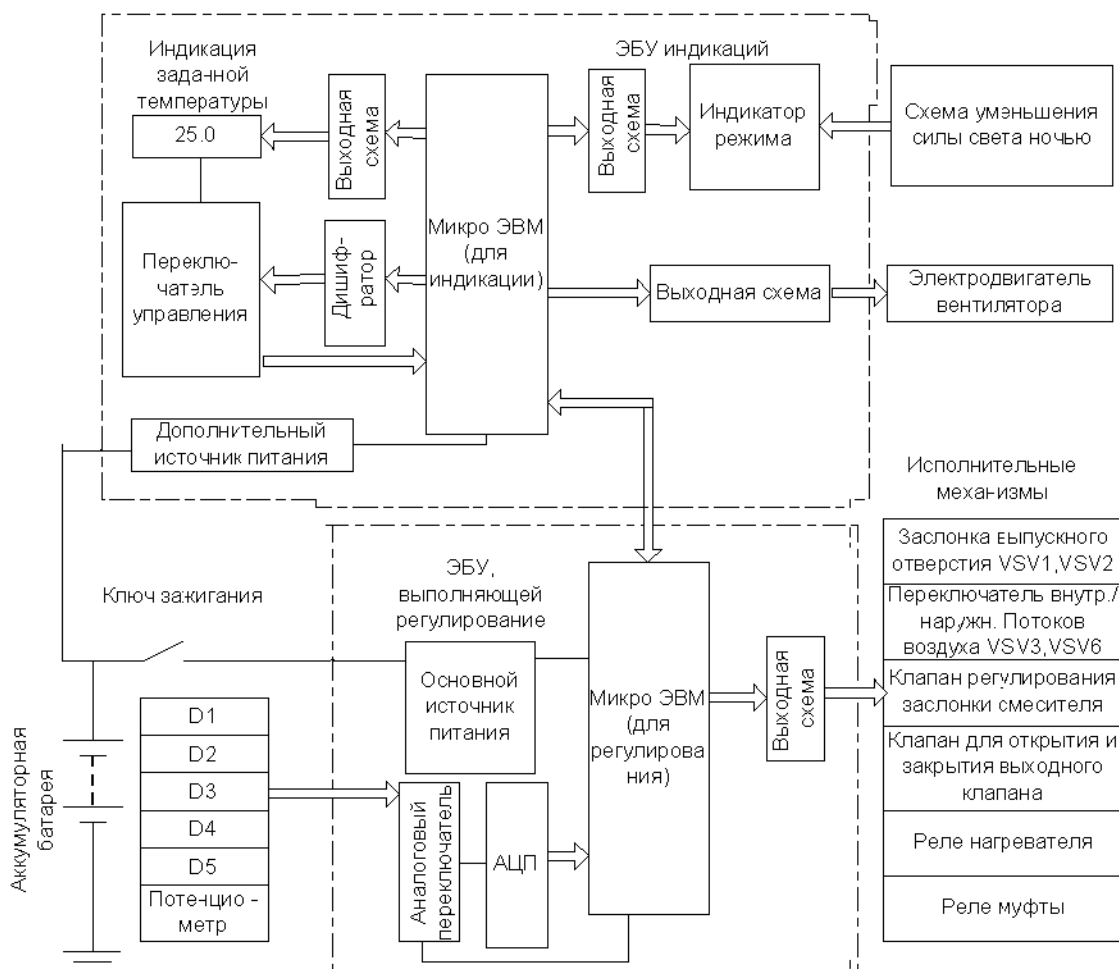


Рис.2. Алгоритм управления климат - контролем автомобиля

Положение заслонки воздушного смесителя плавно регулируется от полностью открытого состояния до полностью закрытого мембраной сервомеханизма, приводимой

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

в действие разрезением. Сервомеханизм связан с потенциометром, сигнал которого пропорционален степени открытия заслонки. В результате образуется сигнал обратной связи, позволяющий сделать близкими реальную и вычисленную степени открытия заслонки рис.2. Спроектирована система управления системой кондиционирования воздуха автомобиля, структурная схема которой представлена на рис.3. Создана программа реализующая описанный алгоритм, рис.2.



**Рис.3. Структура ЭБУ автоматического кондиционирования**

**Заключение.** Спроектирована СУ системой кондиционирования воздуха автомобиля. Разработан алгоритм решения уравнений модели. Создана программа реализующая описанный алгоритм. Предложена модель, описывающая движение воздуха в салоне автомобиля, учитывающая влияние тепла на движение потоков воздуха.

**Список литературы:** 1. Ясинский Ф.Н., Кокорин А.С. Математическое моделирование процессов вентиляции и отопления в больших производственных, культурных и спортивных помещениях. - Вестник ИГЭУ, вып. 3, 2010. 2. Аверкова О.А. Вычислительный эксперимент в аэродинамике вентиляции. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011, 110 с. 3. Числительные методы и параллельные вычисления для задач механики, газа и плазмы: Учеб. Пособие/Э.Ф. Балаев, Н.В. Нуждин, В.В. Пекунов и др.; ИГЭУ – 2003

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЗОНОВОЙ ДЫРЫ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ  
ПРИ ЗАПУСКЕ ЖИДКОТОПЛИВНОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ\*

Пугачев А.Д., Цымбалов Д.С. (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Запуск космических объектов при помощи *ракет-носителей* (РН) актуализует сохранение естественной физико-химической динамики *озоносферы*. Нарушение стратосферного баланса и динамики  $O_3$  влияет не только на перенос УФ излучения к поверхности Земли, но также на химизм нижней атмосферы. Научную основу нацеленных на решение проблемы мер составляют экспериментальные исследования ракетных возмущений озоносферы в сочетании с вычислительным экспериментом [1-4].

Итоги исследований, в которых систематизированы модели воздействия ракет на стратосферный озон, состоят в следующем: 1) локальные (десятки километров  $\times$   $1 \div 3$  тысячи секунд) ракетные возмущения озоносферы стали в последнее время доступными для экспериментального изучения, в то время как долгосрочные последствия не подлежат уверенному мониторингу; 2) удалось ранжировать риски нарушения озоносферной динамики в зависимости от химического состава ракетных топлив – наиболее опасны твердотопливные РН, вбрасывающие в стратосферу соединения хлора и частицы алюминия, которые катализируют «хлорный» цикл гибели озона; вклад жидкотопливных РН представляется в глобальном плане несущественным; 3) адекватная схематизация диссипации реактивной струи РН пока не предложена; 4) кинетическое описание процессов в следовом облаке базируется на упрощенных схемах реагирования, а радиационное поле принимается не зависящим от инициированных химизма и процессов мезомасштабного переноса; 5) остро востребованы упрощенные модели, нацеленные на качественную интерпретацию экспериментальных данных.

Расчетным путем установлено [1,2], что деструкция стратосферного озона в сопоставимой степени зависит от наземных и ракетных источников озон веществ. Первичные озоновые дыры, в которых практически отсутствует озон, существуют от десятка минут до нескольких часов (достигая размера в несколько километров), после чего рассасываются. Их динамика слабо зависит от вида жидкого реактивного топлива. Наиболее безопасны для озоносферы гептильные ракеты, озон-активные выбросы которых не характеризуются кумулятивным действием. Существенно опасней твердотопливные РН на Cl-содержащих топливах. В следе таких РН значительная часть HCl трансформируется в катализирующие распад озона частицы Cl и  $Cl_2$ . Ввиду длительности пребывания частиц активного хлора в стратосфере (свыше 2 лет), озоновая дыра глобализуется. Процесс ускоряют содержащие алюминий: их влияние на глобальное истощение озона оценивается величиной до  $2.6 \times 10^{-8}$  относительных единиц ежегодно.

Также установлено, что величина коэффициента турбулентной диссипации реактивного следа в ряде предшествующих работ занижена на порядок. Результаты наблюдений хорошо объясняет отработанная авторами модель рассеивания реактивного ракетного следа в стратосфере – с двумя последовательно реализующимися механизмами диссипации, сменяющими один другой через  $\sim 10$  минут после пролета ракеты. Иерархия известных моделей диссипации ракетного следа показана на рис. 1.

\* Работа выполнена при поддержке Фонда ALCOA.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

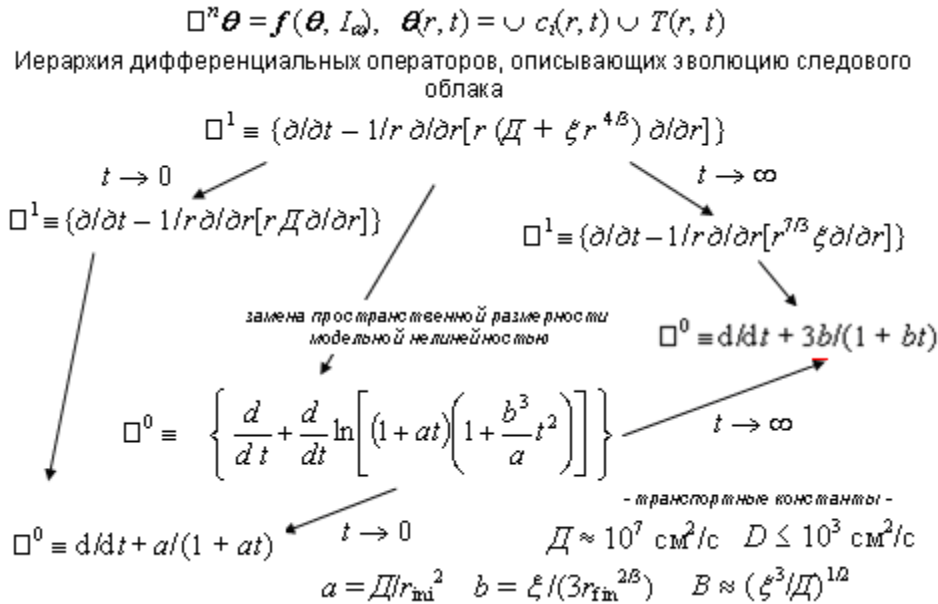


Рис. 1. Иерархия моделей диссипации реактивного следа ракеты-носителя

Редуцированная модель возмущения озоносферы РН «Протон», динамика озоновой «дыры» согласно этой модели приведена на фрагменте б рис. 2, выражается уравнениями

$$\square[\text{NO}] = -k_{\text{NO}}[\text{M}][\text{NO}], \quad [\text{NO}]|_{t=0} = [\text{NO}]_0 S(r_{\text{ini}}, 0), \quad (1)$$

$$\square[\text{O}_3] = -k_{\text{O}_3}[\text{O}_3]_{\text{ph}}[\text{NO}], \quad [\text{O}_3]|_{t=0} = [\text{O}_3]_0 S(r_{\text{ini}}, 0), \quad (2)$$

где  $\square \equiv \frac{\partial}{\partial t} + \frac{a + 2b^3/a \cdot t + 3b^3 t^2}{(1+at)(1+b^3/a \cdot t^2)}, \quad S(r, t) \equiv \text{sign}[r_{\text{ini}}(1+at)(1+b^3/a \cdot t^2) - r^2] / [(1+at)(1+b^3/a \cdot t^2)],$   $k_{\text{NO}}[\text{M}] \approx 10^{-2} \text{ с}^{-1}, \quad k_{\text{O}_3}[\text{O}_3]_{\text{ph}} \approx 10^{-4} \text{ с}^{-1}, \quad r_{\text{ini}} \approx 10 \text{ м}, \quad [\text{O}_3]_0/[\text{O}_3]_{\text{ph}} \approx 0.02, \quad [\text{NO}]_0/[\text{O}_3]_{\text{ph}} \approx 30 \div 100$  – эффективные параметры маломерной модели (1)–(2). Решением этих уравнений служит

$$[\text{O}_3](r, t) = \{[\text{O}_3]_0 + k_{\text{O}_3}[\text{O}_3]_{\text{ph}}[\text{NO}]_0/(k_{\text{NO}}[\text{M}]) \times [\exp(-k_{\text{NO}}[\text{M}]t) - 1]\} S(r, t). \quad (3)$$

Результаты выполненных исследований полезны при выработке экологических стратегий использования космического пространства. Фактически они ведут к снижению ущерба природной среде и стимулируют развитие аэрокосмических технологий.

**Список литературы:** 1. Lohn P.D., Wong E.Y. The effects of rocket exhaust on stratospheric ozone: chemistry and diffusion / Sci. Report by TRW Space & Electronics Group, MIT, Cambridge, MA, Lawrence LNL, Livermore, CA, 1996. 151 p. 2. Tyrrel W., Smith Jr., Edwards J.R. et al. Summary of the impact of launch vehicle exhaust and deorbiting space and meteorite debris on stratospheric ozone / Sci. report by TRW Space & Electronics Group, MIT, Cambridge, MA, Lawrence LNL, Livermore, CA, 1999. 146 p. 3. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую природную среду. Справочное пособие / Под ред. А.В. Адушкина. М.: Анкил, 2000, 640 с. 4. Фадин И.М., Полетаев Б.И., Сидоров В.Н. Экология космоса. С.-Пб.: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2005. 280 с.



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОДХОДА ЛАГРАНЖА-ЭЙЛЕРА ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ *SIMULIA / ABAQUS*

Сидорова Е.В., Соосар В.А. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

**1. Введение**

В большинстве случаев, программное обеспечение для моделирования термомеханических процессов обработки материалов при больших деформациях базируются на одном из двух методов – на методе конечных элементов или на методе натуральных элементов. Основным преимуществом метода натуральных элементов является бессетчатая структура, позволяющая избежать деградации элементов, особенно при больших деформациях. Однако, такой недостаток, как сложность наложения граничных условий, ориентирует наш выбор на метод конечных элементов. Одной из главных проблем данного метода является деградация конечно-элементной сетки.

В 90-х годах *Rakotomalala R.*, *Joyot P.* и *Pantalé O.* скомбинировали подходы Лагранжа и Эйлера в Произвольный подход Лагранжа-Эйлера, обеспечивающий автоматическое непрерывное перезонирование и избегающего, таким образом, проблем деградации конечно-элементной сетки, возникающих при использовании подхода Лагранжа [1].

Среди наиболее распространённых программных продуктов для термомеханического моделирования процессов резания методом конечных элементов, программный комплекс *SIMULIA/Abaqus* (компания *Dassault Systèmes*, Франция) представляет интерес с точки зрения точности получаемых результатов, открытости программного кода, возможности интегрировать различные законы поведения материалов и их взаимодействий.

Целью работы является разработка методики применения Произвольного подхода Лагранжа-Эйлера при термомеханическом моделировании процесса резания пластины с *PVD*-покрытием в программной среде *SIMULIA / Abaqus*. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ Произвольного подхода Лагранжа-Эйлера;
- определить граничные условия при резании режущей пластины с *PVD*-покрытием;
- определить структуру конечно-элементной сетки.

**2. Основное содержание и результаты работы**

При Произвольном подходе Лагранжа-Эйлера (рис. 1). [2] узлы сетки не зафиксированы в пространстве (как в случае подхода Эйлера) и не перемещаются вместе с материальной точкой (как в случае подхода Лагранжа) – они имеют свои собственные уравнения движения. Материальные точки представлены совокупностью Лагранжевых координат  $\vec{X}$ , а пространственные – координат Эйлера  $\vec{x}$  и начальными точками (узлами на сетке) вместе с совокупностью произвольных координат  $\vec{\xi}$ . В момент  $t$  точка пространства  $\vec{x}$  является материальной точкой  $\vec{X}$  за счёт материального движения  $\vec{x} = \Psi(\vec{X}, t)$  и начальной точкой  $\vec{\xi}$  посредством движения сетки  $\vec{x} = \bar{\Psi}(\vec{\xi}, t)$ . Материальная скорость частиц  $\vec{v}$  получена производной  $(\dot{\phantom{x}})$ , а скорость сетки  $\vec{\bar{v}}$  - смешанной производной  $(\partial \bar{\Psi} / \partial t)$



$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} \bigg|_{\vec{X}=cte} \quad \text{и} \quad \vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} \bigg|_{\vec{X}=cte} . \quad (1)$$

Все физические величины рассчитываются для точек пространства  $\vec{x}$  в момент времени  $t$ .

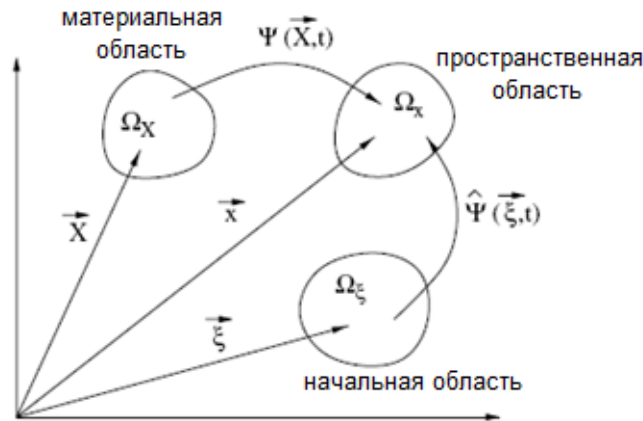


Рис. 1. Описание движения точки пространства для Произвольного подхода Лагранжа-Эйлера [2]

Законы сохранения энергии учитывают движение конечно-элементной сетки [2]:

$$\begin{aligned} \rho + \vec{c} \nabla \rho + \rho \operatorname{div} \vec{v} &= 0; \\ \rho \dot{\vec{v}} + \rho \vec{c} \nabla \vec{v} &= \vec{f} + \operatorname{div} \sigma; \\ \rho \dot{e} + \rho \vec{c} \nabla e &= \sigma : D - \operatorname{div} \vec{q} + r, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность,  $\vec{f}$  - сила,  $\sigma$  - тензор напряжений Коши,  $e$  - внутренняя удельная энергия,  $D$  - тензор скорости деформации,  $r$  - тепло, выделяемое телом,  $\vec{q}$  - вектор теплового потока.

Рассмотрим применение данного подхода при резании режущей пластины с PVD-покрытием (толщина 5 мкм) с геометрическими параметрами ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMG160608E-4E (рис. 2).

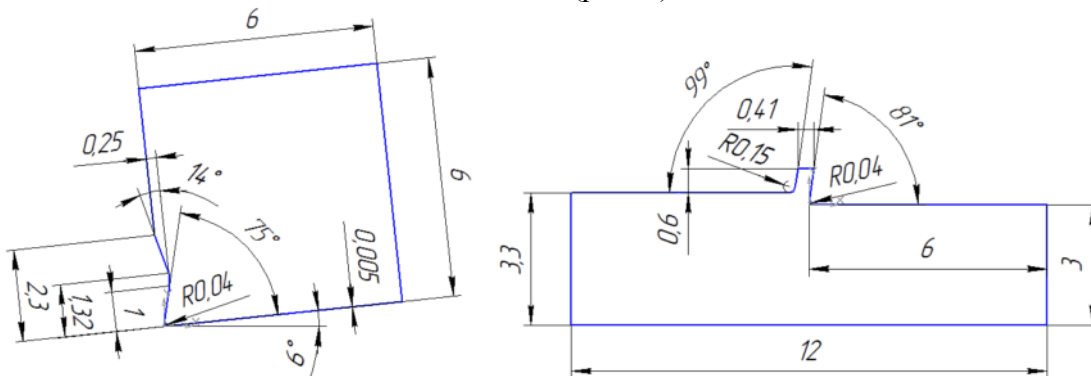


Рис. 2. Геометрические параметры режущей пластины и обрабатываемого материала

Граничные условия для конечно-элементной сетки и для материала представлены на рис. 3 и 4, где  $U1$ ,  $U2$  – закрепление перемещения конечно-элементной сетки по соответствующему направлению,  $V1$ ,  $V2$  – скорость движения материала по соответствующему направлению.

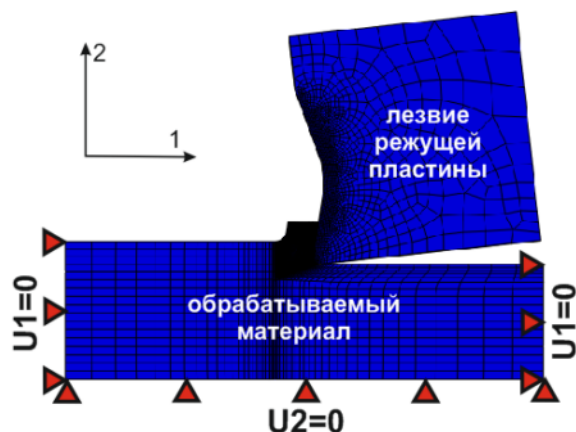


Рис. 3. Граничные условия для конечно-элементной сетки

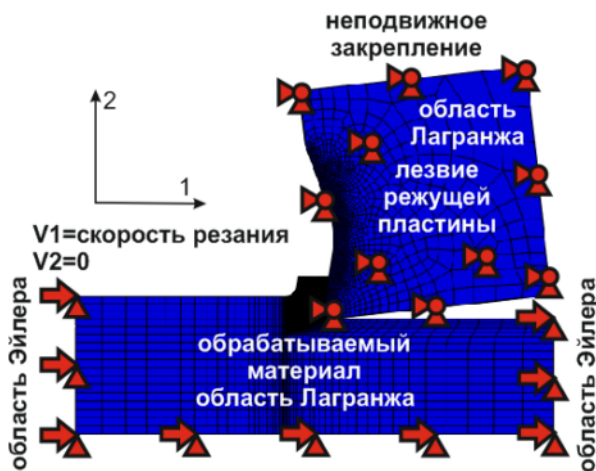


Рис. 4. Граничные условия для материала

Для нанесения конечно-элементной сетки был выполнен следующий порядок действий. Разбиение обрабатываемого материала на части и выбор размера начальной стружки был осуществлён в рамках выполнения следующих соотношений (рис. 5):  $b = 1,36 \cdot a$ ;  $c = 0,64 \cdot a$ ,  $d = 0,82 \cdot a$ ,  $R = 0,5 \cdot a$ .

Учитывая сложности наложения сетки на очень малые размеры, какими является размеры *PVD*-покрытия, разбиваем пластину следующим образом, представленным на рис. 6 с целью возможности наложения структурированной сетки.

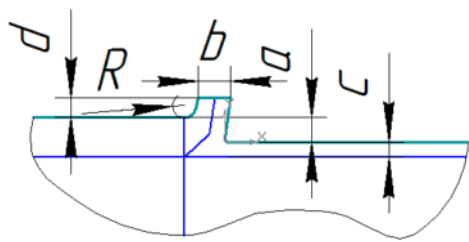


Рис. 5. Схема разбиения обрабатываемого материала на части

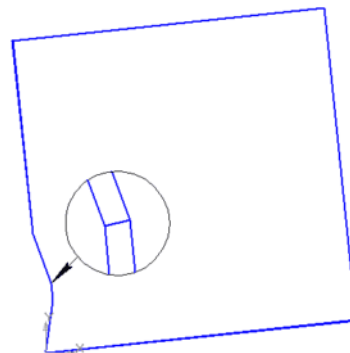


Рис. 6. Схема разбиения на части режущей пластины

Выбираем квадратичную структурированную форму для всех элементов обрабатываемого материала. В режущей пластине элементы *PVD*-покрытия имеют квадратичную структурированную форму, элементы подложки – квадратичную свободную форму. Разметка конечно-элементной сетки выполнена, как показано на рис. 7.

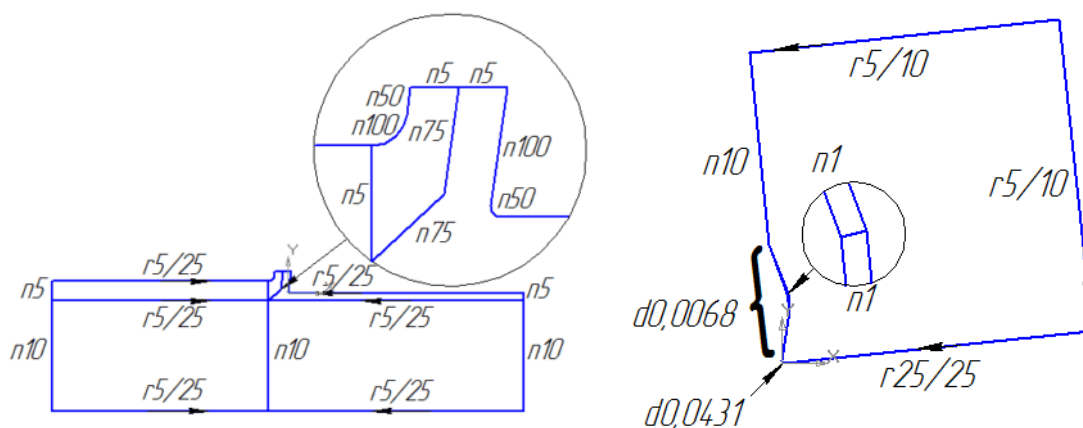


Рис. 7. Разметка конечно-элементной сетки детали и пластины  
( $n$  – число элементов на стороне;  $r$  – увеличение элементов вдоль стороны, числитель – коэффициент увеличения числа элементов, знаменатель – число элементов)

**Заключение.** Для применения Произвольного подхода Лагранжа-Эйлера при термомеханическом моделировании процесса резания пластиной с PVD-покрытием необходимо учитывать особенности наложения граничных условий и конечно-элементной сетки в программной среде *SIMULIA / Abaqus*. Представленная методика позволяет избежать проблем, связанных с деградацией конечно-элементной сетки.

**Список литературы :** 1. Germain, G. Contribution à l'optimisation du procédé d'usinage assisté laser: thèse présentée pour obtenir le grade de docteur: mécanique, matériaux et procédés / Germain Guénaël; ENSAM d'Angers. – Soutenue 04.12.06. – Angers, 2006. – 175 p. 2. Pantalé O., Bacaria J.-L., Dalverny O., Rakotomalala R., Caperaa S. 2D and 3D numerical models of metal cutting with damage effects. // *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 193. – 2004, p. 4383–4399.

## ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ БУРОВОЙ КОЛОНКИ ПРОХОДЧЕСКО-АНКЕРОВАЛЬНОГО КОМБАЙНА КПА ДЛЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПРОХОДКИ

Шабает О. Е., Толстов М. В. (кафедра Горные машины, ДонНТУ, Донецк)

За рубежом с повсеместным развитием анкерного крепления выработок, наибольшее распространение получило прогрессивное направление проходческо-добычных комбайнов типа BOLTERCONTINUOUSMINERS. Отличительной особенностью которых, является барабанный режущий орган с горизонтальной осью вращения и с шириной захвата на всю ширину выработки, а также встроенные средства анкерного крепления. Ведущими лидером в этом направлении являются фирмы: JOY и SANDVIK.

Данный тип комбайнов отличает более высокая производительность проходки по сравнению с широко распространёнными стреловидными проходческими комбайнами. Достижение более высоких темпов проведения подготовительных выработок достигается за счёт совмещения во времени операций по разрушению горного массива и крепления обнажённой кровли, что значительно сокращает затрачиваемое время на один цикл.

# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Отечественный анкерно-проходческий комбайн КПА имеет компоновку аналогичную зарубежным комбайнам. Соответственно он и унаследовал те недостатки, которые им присущи. Для получения высоких показателей при ведении проходческих работ комбайн КПА также оснащён шестью бурильными колонками, которые обеспечивают одновременную установку 4-х анкеров в кровлю и последующую установку 2-х анкеров в бока выработки.

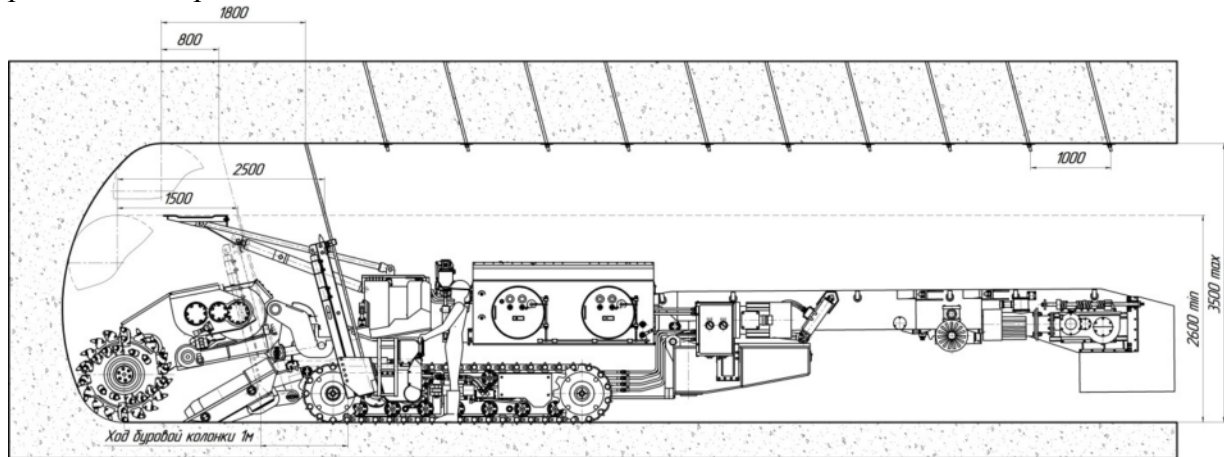


Рис. 1. Общий вид модернизированного комбайна КПА

Процесс разрушения забоя и установки анкеров гидравлически и механически автономны, а наличие телескопируемой части комбайна, которая включает в себя исполнительный орган, погрузочный орган, конвейер, и может перемещаться относительно корпусной части на 1м, позволяет вести работы разрушения и крепления одновременно.

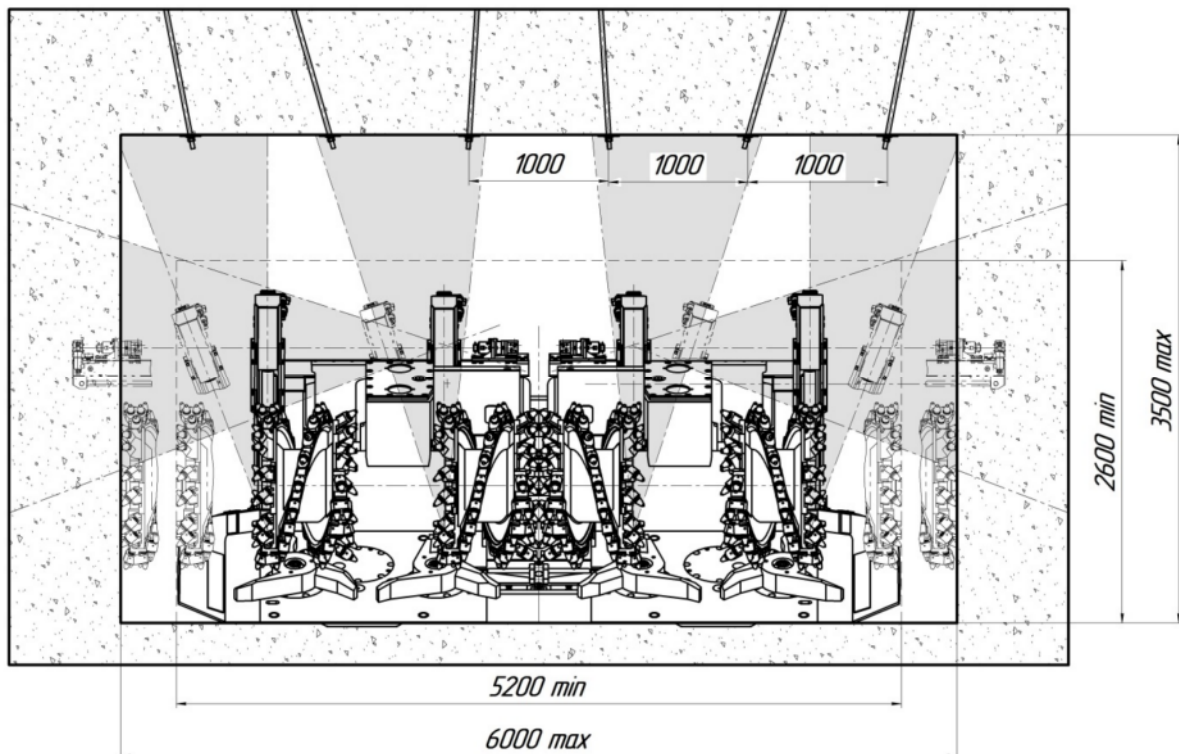


Рис.2. Схема установки анкеров

Встроенные анкероувальные буровые колонки в комбайнах такого типа конструктивно могут располагаться только за исполнительным органом. Тем самым увеличивается расстояние от груди забоя до первого ряда анкеров.

В горно-геологических условиях залегания угольных бассейнов Украины даже временная крепь поддержания обнаженного пространства как правило не допустима, поскольку при снятии её распора в кровлю, в момент перемещения комбайна к забою, возможно расслоение кровли и вывалы. Поэтому для эксплуатации комбайна КПА на Украине необходимо изменить конструкцию жёсткого крепления боковых вертикальных буровых колонок с возможностью перемещения их к забою по направляющим балкам и установке необходимого количества анкеров на расстоянии, допустимом паспортом крепления выработки конкретной шахты.

Данная работа является актуальной в условиях растущих потребностей подготовки новых высокопроизводительных лав, которые требуют значительного повышения темпов проходки подготовительных выработок. Это можно достичь только при применении высокопроизводительных комбайнов типа BOLTERCONTINUOUSMINERS. Но поскольку не во всех горно-геологических условиях возможна производительная работа этих комбайнов, то данная дипломная работа позволит значительно расширить область применения проходческого комбайна КПА за счёт своевременного закрепления и поддержания обнажённой кровли в непосредственной близости от забоя при проведении выработок с кровлей, склонной к обрушению. Также, позволит отказаться от ручного непроизводительного бурения шпуров под анкера у забоя, при длительных простоях комбайна.

В рассматриваемом комбайне КПА установка первого ряда анкеров возможна только на расстоянии от забоя min 1800мм. При этом все буровые колонки жестко крепятся к основной раме комбайна и имеют возможность только качание перпендикулярно оси комбайна. Тем не менее, существующая конструкция комбайна и месторасположение боковых буровых колонок позволяет переместить их на 1м ближе к забою при изменении конструкции крепления таким образом, чтобы получить дополнительную степень свободы, а именно возможность прямолинейного возвратно-поступательного перемещения всей колонки. Способ реализации данного проекта может быть различным, но обязан отвечать ряду условий:

1. Конструкция механизма должна быть технологичной, как при изготовлении, так и при эксплуатации.
2. Работа механизма перемещения должна быть простой и легко-обслуживаемой.
3. Конструкция должна обеспечивать безопасность и санитарные нормы ведения работ по бурению и анкероуванию кровли.

На данный момент зачастую, чтобы установить первый ряд анкеров, согласно паспорта, горнорабочим приходится держать на участке ручные буровые колонки, которые после обработки забоя вручную доставляются к месту анкероувания, проводят операции по подключению к системам энергообеспечения и только затем производят бурение и анкероувание. Как видно технологический процесс достаточно трудоемкий и продолжительный по времени.

В данной работе были рассмотрены возможные конструкции механизма перемещения буровой колонки.

1. Механизм перемещения с цепным тяговым органами с системой полиспаста.

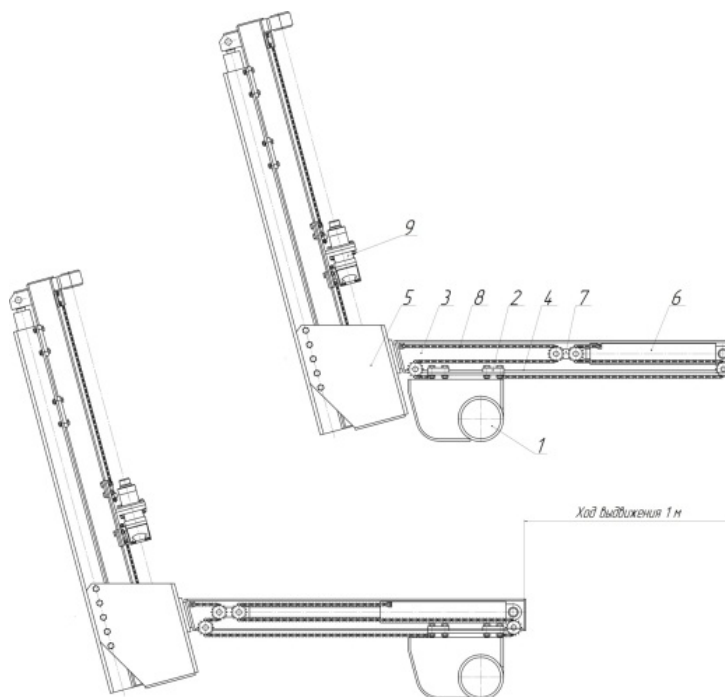


Рис. 3. Механизм перемещения с цепным тяговым органом и с системой полиспаста

Состоит из:

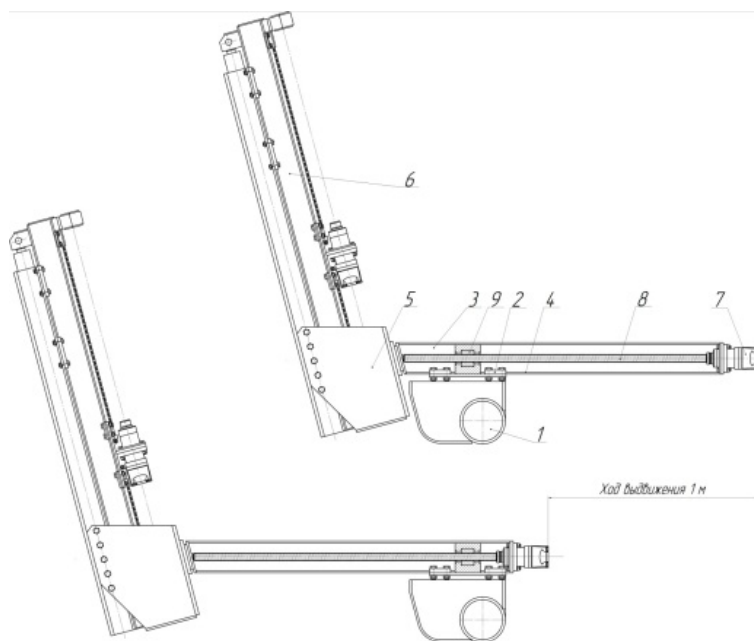
- кронштейна 1, жестко закрепленного на комбайне и имеющего регулируемые захваты 2, в которых фиксируются направляющие опоры податчика с возможностью прямолинейного перемещения относительно них на необходимую величину.
- податчика 3 в виде рамы коробчатой конструкции и имеющего направляющие опоры 4, по которым происходит перемещение.
- элементов жесткого крепления 5 буровой колонки к податчику для одновременного их перемещения.
- полиспастный механизм с гидроцилиндром податчика 6, с блоком обводных звездочек 7 и тяговой роликовой цепью 8, идентичной той, что применяется в самой буровой колонке для перемещения бурильной каретки 9 (ПР-12.7-1280 ГОСТ13568-75). Применение системы полиспаста позволяет сократить величину хода гидроцилиндра до 500м с сохранением общего хода податчика с буровой колонкой равной 1м.

Данный механизм имеет ряд недостатков:

- наличие роликовой цепи понижает безотказность конструкции;
- конструкция комбайна в месте установки механизма должна иметь свободное пространство, в виду того, что податчик имеет длину более 1м, как в сложенном, так и в выдвинутом положении;

2. Манипулятор перемещения с ходовой винтовой парой.





**Рис. 4. Манипулятор перемещения с ходовой винтовой парой**

Состоит из:

- кронштейна 1, жестко закрепленного на раме комбайна и имеющего регулируемые направляющие захваты 2, в которых фиксируются направляющие опоры податчика с возможностью прямолинейного перемещения относительно них на величину, равной длине ходового винта.
- податчика 3 в виде рамы, поперечное сечение которой может быть представлено или квадратом или кругом, и имеющего направляющие опоры 4, по которым происходит перемещение;
- кронштейн крепления 5 податчика с буровой колонкой 6 для совместного их перемещения;
- винтовой механизм, состоящий из гидромотора 7, выходной вал, которого соединен с ходовым винтом 8, гайки 9, которая неподвижно закреплена в неподвижном кронштейне рамы комбайна. В гайке и на винте нарезана одна и та же скругленная ходовая резьба.

Вышеописанный механизм имеет свои определенные недостатки:

- наличие гидромотора значительно удорожает конструкцию;
- конструкция комбайна в месте установки механизма должна иметь свободное пространство, в виду того, что податчик имеет длину более 1м, как в сложенном, так и в выдвинутом положении;
- для изготовления винтовой пары с винтом длиной более 1м необходимо наличие специализированного оборудования и точности изготовления, что сказывается на увеличении себестоимости механизма.

3. Манипулятор перемещения с телескопическим гидроцилиндром.



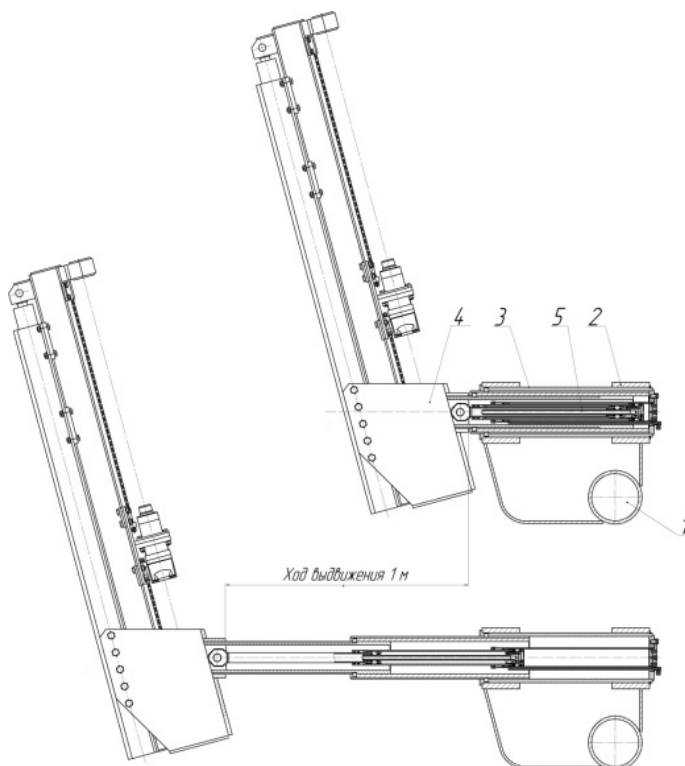


Рис. 3. Манипулятор перемещения с телескопическим гидроцилиндром

Состоит из:

- кронштейна 1, жестко закрепленного на комбайне и имеющего цилиндрическую опору 2, в которой расположен цилиндрический телескопический податчик с возможностью прямолинейного перемещения относительно нее на величину 1м;
- телескопического податчика 3, который выполнен в виде двух труб разного диаметра, причем труба меньшего диаметра входит в трубу большего диаметра и имеет возможность перемещаться относительно друг друга;
- элементов жесткого крепления 4 буровой колонки к податчику для одновременного их перемещения;
- гидроцилиндра подачи 5, который расположен внутри цилиндрического полого податчика и имеет двойную раздвижность для уменьшения габарита всего механизма.

В данной конструкции рабочая жидкость под давлением подается в поршневую полость гидроцилиндра, в результате чего происходит выдвижение штока. Поскольку проушина штока жестко связана с цилиндрическим податчиком, то происходит его перемещение относительно цилиндрических опор кронштейна. Податчик выдвигается вместе с буровой колонкой на величину 1м. При подаче рабочей жидкости в штоковую полость происходит возврат буровой колонки в исходное положение.

Поскольку гидроцилиндр и податчик имеет двойную раздвижность, то это позволяет иметь небольшой габарит всего механизма, что в условиях существующей конструкции комбайна является актуальным и не требует дополнительной перекомпоновки всего комбайна.

**Выводы.** В данной дипломной работе был модернизирован проходческо-анкероувальный комбайн КПА отечественного производства. Комбайн КПА является представителем прогрессивного направления в области проведения подготовительных выработок с использованием встроенных систем анкерования (крепления) кровли и боков проводимых выработок. В результате оснащения комбайна разработанным теле-

---

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

---

скопическим манипулятором вертикальных буровых колонок значительно расширилась область применения данного комбайна в выработках с кровлей слабой и средней степенью устойчивости.

Так же были проведены гидравлические расчеты по определению необходимых расходов и давлений рабочей жидкости для обеспечения рекомендуемых режимов бурения.

Определены параметры бурения шпуров: скорость вращения патрона бурильной каретки, крутящий момент на валу гидромотора бурильной каретки, усилие подачи буровой штанги на забой.

Разработана конструкция телескопического манипулятора и схема его нагружения. Проведено 3D моделирование конструкции и прочностной расчет труб телескопа I и II ступени манипулятора с использованием программы SolidWorksSimulation и подобрана необходимая марка стали и термообработка для обеспечения достаточной прочности при максимальных нагрузках при бурении.

**Список литературы:** 1. Проходческий комбайн КПА. Руководство по эксплуатации. 2. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Малеев Г.В., Гуляев В.Г. и др. – М.: Недра, 1988. – 368с. 3. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для вузов/Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с. 4. Юшкин В.В. Основы расчета объемного гидропривода. – Мн.: Выш. шк., 1982. – 93 с.

### **БОРТОВОЙ КОМПЬЮТЕР АВТОМОБИЛЯ**

**Шушанов Г.И., Шаповалов Р.Г., Рыбинская Т.А.**  
(кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

«**Бортовыми компьютерами**» (другие названия – БК, автобк, бортовик, онбордер, tripcomputer) называют устанавливаемые в автомобиль дополнительные устройства, выполняющие одновременно функции маршрутного компьютера и диагностического автосканера.

История автомобильных компьютеров началась в 1981 г., когда компания IBM разработала первый бортовой компьютер для автомобилей BMW. В 2000 г. американская компания Tracer создала и протестировала первый штатный онбордер и наладила их серийное производство. Существуют также китайские решения.

Целый ряд современных автомобилей оснащен бортовыми компьютерами. Подобные программно-аппаратные комплексы:

- собирают данные с различных датчиков;
- анализируют проведенные измерения;
- отображают информацию о текущем состоянии различных систем транспортного средства на экран;
- выдают водителю соответствующие рекомендации.

Использование бортового компьютера позволяет своевременно выявлять явные и скрытые неисправности в работе автомобильных узлов, а значит, вовремя проводить необходимые ремонтные операции. В результате экономятся средства на диагностику в автосервисе, а эксплуатационный ресурс транспортного средства продлевается.

**История создания бортового компьютера в России** начинается с появления в отечественном автопроме инжекторных автомобилей. Диагностические устройства для этих автомобилей разрабатывала единственная в Советском Союзе научно-исследовательская лаборатория № 15 при Тольяттинском государственном университете (заказчиками НИИ-15 были такие организации, как ЗИЛ, МВД и Министерство обороны). Самый первый бортовой компьютер под названием ПКСУ (позже модифицированный и переименованный в Штат Х1) был разработан в этой лаборатории в 1987 году для микропроцессорной Лады-2108. Нашла инвесторов, доработала конструкцию и довела до серийного выпуска данное изделие компания «Штат».

Основным преимуществом автомобильного компьютера является функциональность. С использованием автомобильного компьютера отпадает необходимость в отдельной установке навигатора, парктроника, телевизора, DVD. Каждое из этих полезных устройств требует отдельное место для установки и управляется отдельно.

В автомобильном компьютере чаще всего управление организовано через сенсорный жидкокристаллический монитор (размеры от 7" до 15" по диагонали). Мониторы могут быть моторизированные и ручные, встраиваемые в консоль, имеют монтажные размеры 1/2DIN, 1DIN или 2DIN, встраиваемые в крышу, отдельно стоящие (съемные). Для разных марок автомашин есть мониторы, встраиваемые в торпеду и полости.

Кроме ставших уже стандартными автомобильных функций (телевизор, GPS, DVD) – автомобильный компьютер позволяет использовать в дороге интернет и электронную почту, диагностирует электронику автомобиля, производит видеозапись дорожной ситуации, а также имеет множество других полезных функций. Автомобильный компьютер позволяет управлять режимами GPS – оперативно менять карты, использовать как векторные, так и растровые карты.

Использование интернета позволяет отслеживать пробки на дорогах, слушать интернет-радио, просматривать видеоконференции, искать необходимую информацию вдали от дома или офиса. Автомобильный компьютер выполняет функцию антирадар (или подключается к имеющемуся).

Громкая связь и дорожная рация, управление звуковыми сигналами и парктроник – все это в одном устройстве!

Для любителей быстрой езды на автомагистралях и частых поездок по многокилометровым пробкам автомобильный компьютер может иметь функцию управления инжектором. Можно в режиме реального времени делать мощнее или, наоборот, уменьшать мощность автомобиля для понижения расхода топлива и реализации более плавного начала движения (для пробок) у мощных двигателей. Для этого понадобится кабель (типа OBD-II, ELM327, VAG-com и другие) для подключения процессора инжектора к автомобильному компьютеру и соответствующий софт.

Бортовые компьютеры российского производства «специализируются» в основном на получении информации с контроллера автомобиля, а также режимах оповещения об аварийных сбоях и калькуляции маршрутных и иных параметров.

В отличие от персонального компьютера, «бортовой маршрутник» имеет узкую ориентированность, направленную в первую очередь на диагностику и корректировку систем функционирования автомобиля. Умение БК можно разделить на категории:

1) Диагностика – тестер системы впрыска автомобиля (при этом генерируются коды ошибок с расшифровкой).

2) Определение мгновенных параметров – диагностический тестер параметров работы двигателя (температура охлаждающей жидкости, напряжение бортовой сети,

частота вращения вала, положение дроссельной заслонки, массовый расход воздуха, угол опережения зажигания, положение регулятора холостого хода)

3) Расчет маршрутных параметров – маршрутный компьютер, позволяющий оценить такие эксплуатационные параметры, как остаток топлива в баке, прогноз пробега на остатке топлива, общий расход топлива, расход топлива за поездку, пройденное расстояние за поездку, средний расход топлива, цифровой спидометр, средняя скорость, движения за поездку, черный ящик скорости, время поездки, стоимость поездки.

4) Аварийный сигнализатор – визуальное и звуковое оповещение водителя о нештатных ситуациях (опасный перегрев двигателя, недопустимое напряжение в бортовой сети, превышение порога скорости).

5) Дополнительные функции – программирование сроков техобслуживания, ОСАГО, органайзер, функция такси, прогрев/прожиг свечей, управление порогом включения вентилятора охлаждения, дополнительные корректировки параметров, автоматический октан-корректор и т.д.

**Список литературы:** 1. Бортовые компьютеры “ШТАТ 110 x4”, “ШТАТ 110 x5”. Руководство по установке и эксплуатации. – Тольяттинский государственный университет, 2001. 2. Бортовой компьютер Штат Chevrolet Lanos L 1002M. <http://www.shtat.ru>

## ACTIVE SYNTHESIS OF FIXED MACHINE DRIVE SYSTEMS AS A TOOL FOR REDUCTION VIBRATION

**Adamczyk J., Dzitkowski T., Dymarek A., Kaliński W.**  
(*Silesian University of Technology, Gliwice, Poland*)

### 1. Introduction

The selection of the dynamical properties of machines is one of the methods enhancing their durability and reliability. Such task may be accomplished with the use of the analysis and synthesis algorithm. The scope of this paper is a method of selecting the dynamical parameters of systems on the grounds of the synthesis algorithm [1-7].

The determination of such structure of the system and its parameters that meets the requirements concerning the assumed dynamical phenomena is a task inverse to analysis, therefore, it is a synthesis. Such task may be regarded as a support of the stage of designing mechanical systems, where an essential element is the fulfillment of the required dynamical properties. These properties may be represented in a graphic or analytical form, or in a form of sequential zeros and poles, which shall be considered in the paper.

The scope of this paper is a problem of vibration reduction in designed mechanical systems. The method of reduction has been based on active synthesis [4-7], which makes it possible to obtain the desired mechanical effect through the proper selection of dynamic properties of the system, including the calculation of the active force as a function of the system force feedback. The presented work extends the task of synthesis with new methods, with particular focus on the method of active synthesis of vibrating mechanical systems. Active synthesis is understood as a search for parameters and structure of dynamic systems in conjunction with the value of the adjusting force based on the requirements put forward. These requirements apply to obtaining the set dynamic properties of systems with control as characteristic functions (impedance, mobility).

### 2. Synthesis of fixed machine drive systems

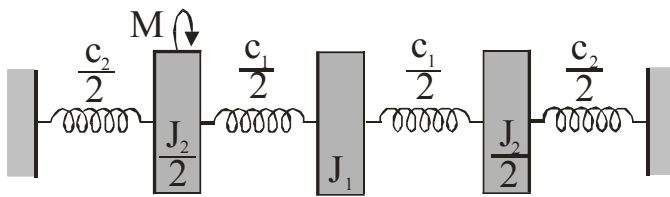


Fig. 1. Discrete system obtained through synthesis

The first step of active synthesis is setting the parameters and structure of the system - passive synthesis. The cascade structure of the proposed system (see Fig. 1), together with the values of the inertial and elastic elements (see Tab. 1), was obtained using combining the method of distribution of the dynamic characteristics into a continued fraction with the

method of proportional distribution – theoretical details and numerical examples of this method are presented in [4].

Table 1. Values of the inertial and elastic elements of the sought system

$J_1$ [kgm <sup>2</sup> ]	$J_2$ [kgm <sup>2</sup> ]	$c_1$ [Nm/rad]	$c_2$ [Nm/rad]
1.00	2.40	600.00	360.00

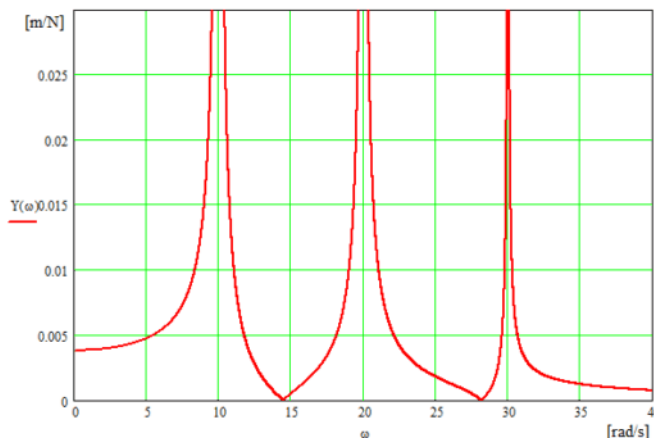


Fig. 2. Dynamic characteristics of a system subjected to passive synthesis

After determining the parameters and structure of the passive system, it is possible to proceed to determine the force that will allow stabilising and reduction in vibrations of the system in the vicinity of the resonant state of the system (Fig.2).

With this in mind the dynamic characteristics is modified by the introduction of a parameter for the vibration frequency shift for a given resonance frequency -  $\Delta\omega$ , in the form:

$$Y1(s) = \frac{(s^2 + 14.44^2)(s^2 + 28.13^2)}{(s + (10 + \Delta\omega_1)^2)(s^2 + 20^2)(s + (30 + \Delta\omega_3)^2)}, \quad (1)$$

In considering the desired characteristics (1), the sought force is determined for the first inertial element - Fig.1. As a result of such modifications to the characteristics (1), there

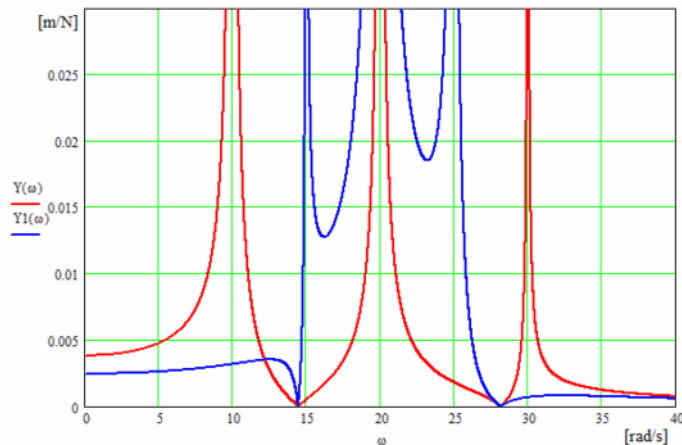


Fig. 3. Dynamic characteristics of a system subjected to active synthesis – shift of the first and third resonant frequency of the system

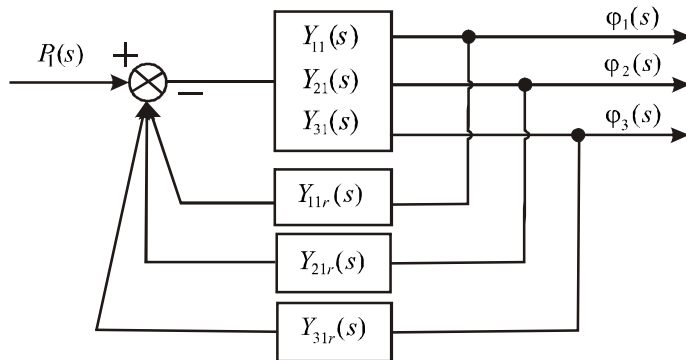


Fig. 4. Block diagram of the analysed control system

occurs a shift of the first resonant frequency and the third resonant frequency. Examples of such defined modifications to characteristic is presented in Fig. 3.

In order to achieve a shift of the resonant frequency of the analysed system (Fig. 1), a control law is determined which enables the calculation of the actuation strength as a function of the feedback in the form:

$$M = -(k_{p1}\phi_1 + k_{p2}\phi_2 + k_{p3}\phi_3), \quad (2)$$

where:  $k_{p1}, k_{p2}, k_{p3}$  - coefficients of the gain of the control system dependant of the position of inertial elements of the analysed system.

In the following part, the method for calculating these coefficients has been shown, which in turn will permit the determination of the control force. For this purpose a block diagram is built of a closed system including the controllers for the force inductors in the system, as shown in Fig. 4.

Dynamic flexibility between the first input and output of the system with the vibration eliminator in the form of a dynamic force is as follows:

$$Y_{1r}(s) = \frac{Y_{11}(s)}{1 + Y_{11}(s) \cdot Y_{11r}(s) + Y_{21}(s) \cdot Y_{21r}(s) + Y_{31}(s) \cdot Y_{31r}(s)}, \quad (3)$$

where:  $Y_{11}(s) = \frac{1.2s^4 + 1200s^2 + 198000}{1.44s^6 + 2016s^4 + 705600s^2 + 51840000}$  – the transfer function between the first input and output of the analysed system in Fig.3,

$Y_{21}(s) = \frac{360s^2 + 144000}{1.44s^6 + 2016s^4 + 705600s^2 + 51840000}$  – transfer function between the second output and the first input of the analysed system;

$Y_{31}(s) = \frac{90000}{1.44s^6 + 2016s^4 + 705600s^2 + 51840000}$  – the transfer function between the third output and the first input of the analysed system,  $Y_{11r}(s) = k_{p1}$  - transfer function of the controller in the force feedback loop from the first movement,  $Y_{21r}(s) = k_{p2}$  - transfer function of the controller in the force feedback loop from the second movement.  $Y_{31r}(s) = k_{p3}$  - transfer function of the controller in the force feedback loop from the third movement. The value of ampli-

fication factors of the control system is determined by comparing the characteristics (1) with the characteristic of dynamic flexibility of the control system in the force feedback loop (3). As a result of the comparison of characteristics, including expressions with equal powers and taking into account the gain in the characteristic of the analysed system (3), three sets of equations have been determined, which will be used to determine the gain coefficients of the control force. In the case a shift of the first and third resonant frequency, it has the form:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{198000k_{p1} + 144000k_{p2} + 90000k_{p3}}{1.44} = \left[ \begin{array}{l} 360000(\Delta\omega_1)^2 + 7200000\Delta\omega_1 + 24000(\Delta\omega_1)^2\Delta\omega_3 + \\ + 400(\Delta\omega_1\Delta\omega_3)^2 + 40000(\Delta\omega_3)^2 + 2400000\Delta\omega_3 + \\ + 8000(\Delta\omega_3)^2\Delta\omega_1 + 480000\Delta\omega_1\Delta\omega_3 \end{array} \right], \\ \frac{1.2k_{p1}}{1.44} = 20\Delta\omega_1 + (\Delta\omega_1)^2 + 60\Delta\omega_3 + (\Delta\omega_3)^2, \\ \frac{1200k_{p1} + 360k_{p2}}{1.44} = \left[ \begin{array}{l} 1300(\Delta\omega_1)^2 + 26000\Delta\omega_1 + 60(\Delta\omega_1)^2\Delta\omega_3 + (\Delta\omega_1\Delta\omega_3)^2 + \\ + 500(\Delta\omega_3)^2 + 30000\Delta\omega_3 + 20(\Delta\omega_3)^2\Delta\omega_1 + 1200\Delta\omega_1\Delta\omega_3 \end{array} \right], \end{array} \right. \quad (4)$$

Assuming the values for natural frequency shifts:  $\Delta\omega_1 = 5$  [rad/s] and  $\Delta\omega_3 = -5$  [rad/s], the values of a dynamic force is as follows:

$$M = -(-180\varphi_1 + 562.5\varphi_2 - 180\varphi_3). \quad (5)$$

The proposed method of active synthesis can be included in the method of proportional control with force feedback from the state.

**4. Conclusion** The paper presented discusses the formulation and formalisation of the problem of active synthesis of vibrating systems which is to be used as a computer-aided design tool for all operating conditions of the device. The proposed method of active synthesis of discrete mechanical systems is a combination of the passive synthesis methods with the method of determining the active force. The advantage of the proposed method is that, as a result of the synthesis, one obtains a large number of structures, system parameters and amplifications of control force which can substantially affect the optimal choice of parameters for the object in question.

**References:** 1. Dzitkowski T., Dymarek A., The synthesis of machine driving systems. 12th International Scientific and Engineering Conference - Machine-Building and Technosphere on the Border of the XXI Century, Donetsk – Sevastopol 2005, Vol. 5, p. 66-70. 2. Dzitkowski T., Dymarek A., Design and examining sensitivity of machine driving systems with required frequency spectrum. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 26, 2008, p.49-56. 3. Dzitkowski T., Dymarek A., Synthesis and sensitivity of multiaxial drive systems. Acta Mechanica et Automatica. Vol. 3, No. 4. Białystok 2009. p. 28-31. 4. Dzitkowski T., Dymarek A., Adamczyk J., Active synthesis of restrained machine drive systems using a comparative method. 18th International Scientific and Engineering Conference - Machine-Building and Technosphere on the Border of the XXI Century, Donetsk – Sevastopol 2011, Vol. 4. p. 50-54. 5. Dymarek A., Dzitkowski T., Design of damping systems with required frequency spectrum. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 49/2, 2011, p.269-274. 6. Dzitkowski T., Dymarek A., Active synthesis of multiaxial drive systems using a comparative method. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 49/2, 2011, p.275-284. 7. Dzitkowski T., Dymarek A., Active synthesis of discrete fixed mechanical systems using a comparative method. Lecture Notes in Information Technology, Vol. 15, 2012, p.433-438.