

Литература

1. Ключев В. И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.
2. Ереско С.П., Рушелюк Г.М., Ереско Т.Т. Математическое моделирование системы автоматического регулирования гидропривода роторного траншейного экскаватора // Современные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий : материалы Междунар. науч.-техн. конф. и Рос. науч. шк. М., 2001. Ч. 3. С. 39–40.
3. Васильев С.И., Иванчура В.И. Численное моделирование рабочего процесса привода рабочего органа роторного траншейного экскаватора // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4 (7). С. 15–21.

Reference

1. Klyuchev V. I. The electric drive theory M.: Energoatomizdat, 1985. 560 s.
2. Eresko S. P., Rushelyuk G.M., Eresko T.T. Mathematical modeling of the automatic control system of a rotary trenching machine hydraulic drive / S. P. Eresko, G. M. Rushelyuk, T. T. Eresko // Sovremennye problemy kachestva, matematicheskogo modelirovaniya i informatsionnykh tekhnologiy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. i Ros. Nauch. shk. M., 2001. Ch. 3. S. 39-40.
3. Vasiliev S. I., Ivanchura V.I. Numerical modeling of the drive working process for a rotary trenching machine operating member // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. № 4 (7). S. 15–21.

УДК 621.879.3

Прочностной анализ конструкции ковша экскаватора ЭО-3323 при помощи САПР с целью установки противоадгезионных устройств

С.А. Зеньков^{1*}, Е.В. Курмашев¹, А.С. Козик¹, М.С. Банщиков¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия
Статья поступила 15.12.2011, принята 20.02.2012

С применением современных САПР (CAD) программ была построена трехмерная твердотельная модель ковша одноковшового экскаватора ЭО-3323, для нее выбрана тетраэдральная сетка из десятиузловых элементов второго порядка. Представленная модель была импортирована в препроцессор подготовки моделей для конечно-элементного анализа APM WinMachine. Создание конечно-элементной модели осуществлялось на основе импортированной из КОМПАС-3D геометрической модели в APM Studio. Произведен расчет напряженно-деформированного состояния ковша под действием сил, возникающих при копании грунта оборудованием «обратная лопата». Построены карты перемещений, деформаций и напряжений в ковше и выявлены наиболее и наименее напряженные места. Разработка влажных связных грунтов связана с налипанием грунта на рабочие органы одноковшовых экскаваторов и снижением их производительности. При этом снижение производительности происходит из-за уменьшения полезной вместимости ковшевой за счет неполной выгрузки, увеличения лобового сопротивления при резании (копании) в результате прилипания влажного грунта к рабочему органу, роста сопротивления входа в ковш, увеличения простоя машин ввиду необходимости очистки рабочих органов. Кроме того, растут энергетические потери из-за увеличения сил трения, и снижается качество выполняемых работ. Сила трения при копании и планировке составляет 30...70 % от общего сопротивления копанью, а производительность снижается в 1,2...2 раза и более. При вибротепловом воздействии появляется новый технологический эффект, заключающийся в увеличении диапазона влажности эффективного применения и резком снижении силы трения. Для разрушения адгезионных связей при подогреве требуется меньшая вынуждающая сила вибратора. Вибрация ускоряет подогрев контактного слоя, что снижает затраты тепловой энергии, однако встает вопрос о месте размещения пьезокерамических преобразователей на ковше экскаватора. Определены места, где для снижения адгезии грунта к ковшам экскаваторов можно расположить пьезокерамические устройства, которые наиболее эффективны при применении комбинированных (вибротепловых) методов воздействия. Использование этих устройств позволяет устранить налипания и повысить эффективность работы одноковшовых экскаваторов при работе на влажных связных грунтах.

Ключевые слова: САПР, CAD (Computer-Aided Design), ковш экскаватора, трехмерная твердотельная модель, напряжения, перемещения, деформации, адгезия грунта, пьезокерамические преобразователи.

* E-mail address: mf@brstu.ru

Strength analysis of the ЭО-3323 bucket design using cad system to install anti-adhesive devices

S.A. Zen'kov¹, E.V. Kurmashev¹, A.S. Kozik¹, M.S. Banshchikov¹

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia

Received 15.12.2011; Accepted 20.02.2012

Using modern CAD programs, the 3D solid model of a bucket of a single-bucket ЭО-3323 excavator was constructed, a tetrahedral grid consisting of 10-node elements of the second order was chosen for it. The produced model was imported into the front-end processor of the model making-ready for the finite-element APM WinMachine analysis, and the finite-element model construction was implemented on the basis of a geometrical model imported from KOMPAS-3D into APM Studio. The determination of the bucket deflected mode under the influence of forces arising while excavating using a backdigger has been carried out. The maps of displacements, deformations and stresses in the bucket have been constructed, and the most and least stressed points have been revealed. The excavation in wet cohesive soils is characterized by soil sticking to operating members of single-bucket excavators and by performance degradation. At the same time, the performance degradation occurs because of the buckets useful capacity loss due to incomplete unloading, head resistance increase in cutting (excavating) as a result of wet soil sticking to the operating member, increase in idle time of a machines due to the necessity of operating members cleaning. Besides, there is some rise in energy loss due to friction forces increase and the quality decline in the performed works. The friction force in the excavating and layout processes accounts for 30-70% of the total resistance to excavation, and the efficiency decreases by 1.2-2 times and more. Under the vibrothermal action, there appears a new operational benefit consisting in gaining moisture span for effective application and a sharp decrease in friction force. To break up adhesive bonds while heating, a less disturbing force of a vibration machine is needed. Vibration accelerates the contact layer heating which leads to thermal energy expenditure. However, there is a problem of the placement of piezoceramic transducers on the bucket. The places enabling to install piezoceramic devices in order to reduce soil adhesion to buckets have been identified, and they appear to be the most effective ones as referred to the combined (vibrothermal) methods. The application of the mentioned devices eliminates soil adhesion to a bucket and raises the operating efficiency of single-bucket excavators when working in wet soil.

Keywords: CAD system, CAD (Computer Aided Design), bucket, 3D solid model, stresses, displacements, deformations, soil adhesion, piezoceramic transducers.

Успешная деятельность предприятий обеспечивается выпуском продукции, которая должна четко отвечать определенным потребностям, области применения или назначения, удовлетворять требованиям потребителя, соответствовать применяемым стандартам и техническим условиям, учитывать требования охраны окружающей среды, предлагаться потребителю по конкурентоспособным ценам, быть экономически выгодной.

Для производства конкурентоспособной продукции необходимо как можно быстрее выпускать новые изделия, снижать их себестоимость и повышать качество. В этом помогают современные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие облегчить весь цикл разработки изделий – от выработки концепции до создания опытного образца и запуска его в производство. Тем самым значительно ускоряется процесс создания новой продукции без ущерба качеству.

Применение САПР-конструирования изделий, которую на Западе называют CAD (Computer-Aided Design), позволяет выполнять объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерный анализ, оценку проектных решений, получение чертежей.

Цель САПР – повысить качество проектирования, снизить материальные затраты, сократить сроки проектирования и оптимизировать количество инженерно-технических работников, занятых проектированием и конструированием.

Объект исследования. Опыт эксплуатации землеройных машин показывает, что при разработке влажных грунтов (особенно при отрицательной температу-

ре) намерзание и налипание грунта на рабочие органы существенно снижает производительность машин.

При этом снижение производительности происходит из-за уменьшения полезной вместимости ковшей за счет неполной выгрузки, увеличения лобового сопротивления при резании (копанию) в результате прилипания влажного грунта к рабочему органу, роста сопротивления входа в ковш, увеличения простоев машин ввиду необходимости очистки рабочих органов. Кроме того, растут энергетические потери из-за увеличения сил трения и снижается качество выполняемых работ. Сила трения при копании и планировке составляет 30...70 % от общего сопротивления копанью, а производительность снижается в 1,2...2 раза и более [1].

Для борьбы с адгезией грунтов предлагается использовать пьезокерамические преобразователи (трансдюсеры), обладающие эффектом теплового и вибрационного воздействия. Эти устройства применяются при использовании комбинированных методов воздействия и могут быть размещены в местах наибольшей адгезии. Их действие основано на обратном пьезоэлектрическом эффекте.

Исследовано совместное применение вибрации и подогрева рабочей поверхности [4]. При вибротепловом воздействии появляется новый технологический эффект, заключающийся в увеличении диапазона влажности и резком снижении силы трения. Для разрушения адгезионных связей при подогреве требуется меньшая вынуждающая сила вибратора. Вибрация ускоряет подогрев контактного слоя, что снижает затраты тепловой энергии.

Однако встает вопрос о месте размещения пьезокерамических преобразователей на ковше экскаватора.

Цель исследования. В данной работе произведен расчет напряженно-деформированного состояния ковша экскаватора ЭО-3323 при помощи системы автоматизированного проектирования APM WinMachine с целью определения наименее напряженных мест для размещения пьезокерамических преобразователей.

APM WinMachine – система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения, разработанная с учетом последних достижений в вычислительной математике, в области численных методов и программирования, а также современных теоретических и экспериментальных инженерных решений. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам [2].

Несмотря на широкие функциональные возможности APM WinMachine, создавать трехмерные твердотельные модели деталей и конструкций сложной геометрии в данной системе неудобно. Для решения этой проблемы существует возможность импортирования файлов из других систем, в которых процесс создания трехмерных моделей деталей и конструкций проще и занимает меньше времени. На рис. 1 представлена трехмерная модель ковша экскаватора ЭО-3323, сделанная в системе КОМПАС-3D. Представленная модель была импортирована в препроцессор подготовки моделей для конечно-элементного анализа APM WinMachine, затем указаны места закрепления и приложены нагрузки по схеме (рис. 2). Схема нагрузок соответствовала положению ковша в момент его заглубления в грунт. X_A , X_B , Y_A , Y_B – закрепление ковша (реакции опоры), сила P (наибольшее усилие копания экскаватора), действующая на ковш через зубья, согласно технической характеристики машины, была принята 100кН [3].

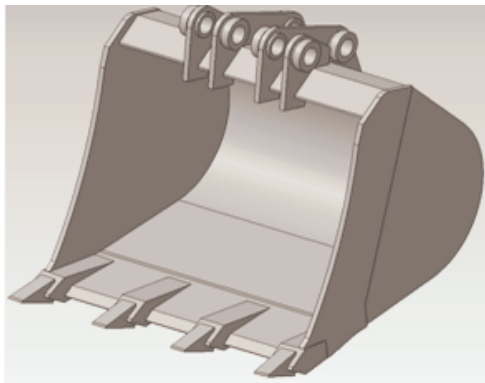


Рис. 1. Трехмерная модель ковша.

Создание конечно-элементной модели было осуществлено на основе импортированной из КОМПАС-3D геометрической модели в APM Studio (рис. 3). Для нее выбрана тетраэдральная сетка из десятиузловых эле-

ментов второго порядка. Количество конечных элементов составляло 210103, количество узлов – 60465.

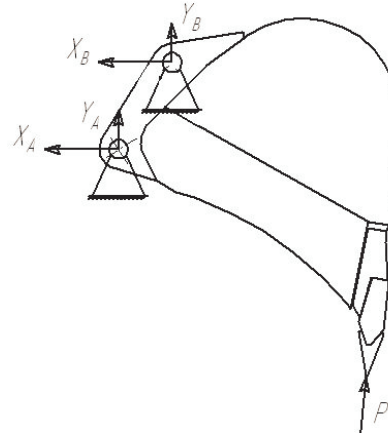


Рис. 2. Схема сил, действующих на ковш.

В состав APM Studio входят инструменты подготовки сборок к расчету, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчетной модели при различных воздействиях с точки зрения статики, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения непосредственно в модуле APM Studio.

В работе рассмотрены основные нагрузки, действующие на ковш, для различных положений ковша экскаватора. Рассматривается случай максимального приложения нагрузки, при этом нагрузка равномерно распределена по длине режущей кромки ковша и на каждый зуб.

В рамках предложенной постановки 3D задачи механики контактного взаимодействия программной системе конечных элементов анализа APM Studio получены поля компонентов тензора напряжений, а также найдены относительные перемещения в ковше экскаватора ЭО-3323.

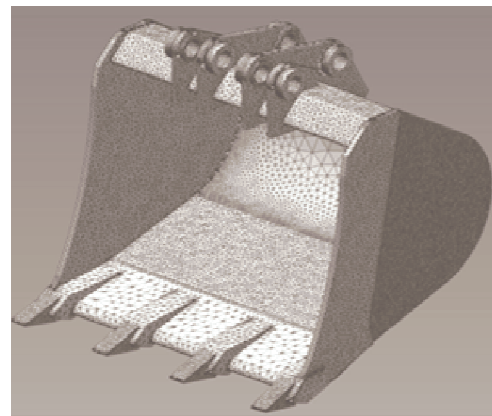


Рис. 3. Разбиение ковша на конечные элементы с использованием модуля твердотельного моделирования APM Studio.

Анализ полученных результатов. На рис. 4 представлены напряжения в ковше при нагрузке по 25 кН на каждый зуб, нагружение соответствует моменту заглупления ковша в грунт. В основном в ковше возникают напряжения 5-10 мПа (неотмеченные места). В местах, обозначенных цифрой 1, возникают напряжения 30-40 мПа, в местах 2 – 10-20 мПа, в местах 3 – до 160 мПа. Наиболее

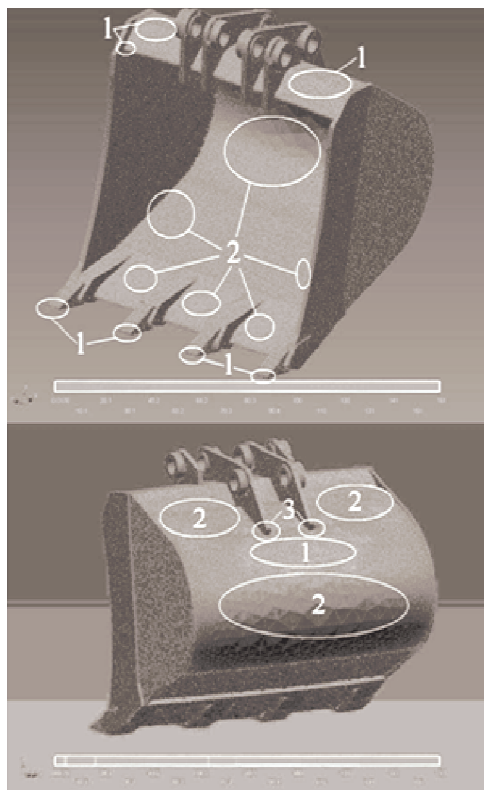


Рис. 4. Карта напряжений в ковше.

напряженные участки в ковше – это места крепления упоров к задней стенке (места 3), которые являются концентраторами напряжений.

На рис. 5 цифрами отмечены перемещения относительно мест крепления: 1 – 1,2-1,4 мм; 2 – 0,8-1 мм; 3 – 0,6-0,7 мм; 4 – 0,1-0,2 мм; 5 – 0-0,2 мм. Наибольшее перемещение при нагрузке от крепления присутствует в местах расположения зубьев, что можно объяснить приложением в этих местах сосредоточенной нагрузки от разрабатываемого грунта.

На рис. 6 цифрами отмечены деформации: 1 – растяжение 0,000070-0,000080; 2 – сжатие 0,000040-0,000080. Неотмеченные места – растяжение 0,000006-0,000010.

На основании полученных результатов предоставляется возможность изменения конструкции таким образом, чтобы напряжения в ковше были равны и не возникало сильнонапряженных мест.

Местами возможного размещения пьезокерамических преобразователей являются задняя стенка ковша по обе стороны от мест крепления упоров к задней стенке (рис. 6) и места перехода от задней стенки к днищу.

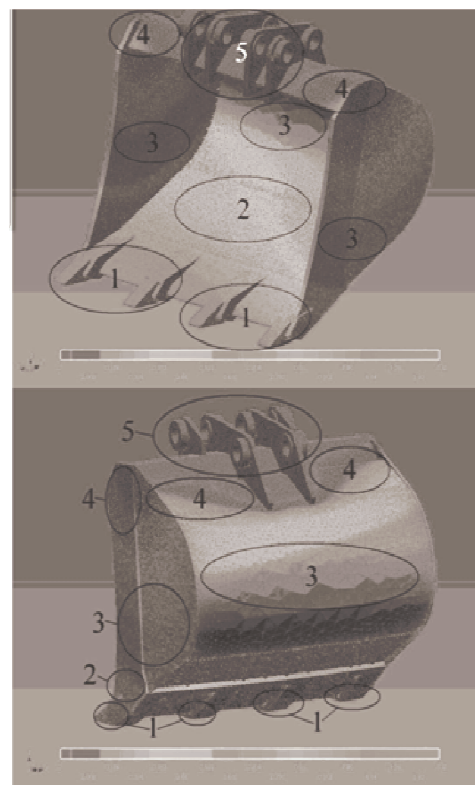


Рис. 5. Карта перемещений в ковше.

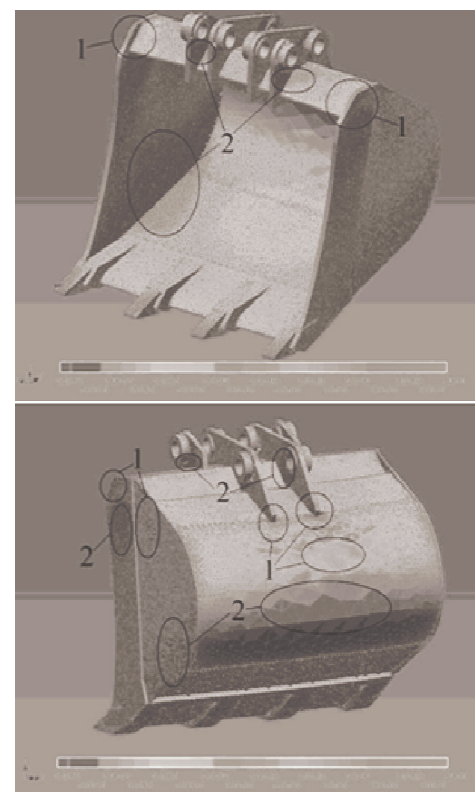


Рис. 6. Карта деформаций в ковше.

Литература

1. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Елохин А.В., Красавин О.Ю. Использование пьезокерамических преобразователей (трансдюсеров) для снижения сил адгезии грунтов на рабочих органах строительно-дорожных машин // Политранспортные системы Сибири: сб. докл. VI Всерос. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2009. Ч.1. С. 346-351.
2. Решение для машиностроения [Электронный ресурс] // CAD/CAE система APM WinMachine: сайт. URL: <http://www.apm.ru/rus/machinebuilding> (дата обращения 12.12.2011).
3. Козик А.С., Буйлов О.А., Зеньков С.А., Зеньков А.С. Конечно-элементное исследование напряженно-деформированного состояния ковша экскаватора ЭО-3323 // Механики XXI века: сб. докл. X всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Братск, 2011. С.143 - 145.
4. Курмашев Е.В., Красавин О.Ю. Анализ повышения производительности экскаваторов при использовании пьезокерамических трансдюсеров // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. 125 с.

Reference

1. Zen'kov S.A., Kurmashev E.V., Elokhin A.V., Krasavin O.Yu. Application of piezoceramic transducers to reduce soil adhesive strength on the operating elements of road-building machines // Politransportnye sistemy Sibiri: sb. dokl. VI Vseros. nauch.-tekhn. konf. Novosibirsk, 2009. Ch.1. S. 346-351.
2. Solution for Mechanical Engineering // CAD/CAE sistema APM WinMachine URL: <http://www.apm.ru/rus/machinebuilding> (access date 12.12.2011).
3. Kozik A.S., Buylov O.A., Zen'kov S.A., Zen'kov A.S. Finite-element research for the ЭО-3323 excavator bucket deflected mode // Mekhaniki XXI veku: sb. dokl. X vseros. nauch.-tekhn. konf. s mezhdu-nar. uchastiem. Bratsk, 2011. S. 143-145.
4. Kurmashev E.V., Krasavin O.Yu. Analysis of an excavator productivity improvement when using piezoceramic transducers // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2009. № 4. 125 s.