

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.879.3

*КУЛЕШОВ АЛЕКСЕЙ ВИТАЛЬЕВИЧ, магистрант,
he6o11@mail.ru*

*СЛЕПЧЕНКО ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
vldslp@mail.ru*

*СЛЕПЧЕНКО ИРИНА ВИКТОРОВНА, канд. техн. наук, доцент,
slepsdm@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА В СРЕДЕ САПР

Статья посвящена оптимизации рабочего оборудования гидравлического экскаватора. Оптимизация производилась с помощью системы автоматизированного проектирования APM WinMachine. Формирование нагрузок на рабочее оборудование осуществлялось на основе силового и кинематического анализа процесса копания экскаватора. Рассмотрены шесть промежуточных положений рукояти в процессе копания. Для каждого расчетного положения проводился анализ напряженного состояния, благодаря чему получена графическая зависимость максимального эквивалентного напряжения в сечениях сборочных единиц РО от угла поворота рукояти экскаватора. Тем самым обеспечена максимальная оптимизация сечений рабочего оборудования экскаватора.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор; оптимизация металлоконструкций; максимальные эквивалентные напряжения; метод конечных элементов.

*ALEKSEY V. KULESHOV, Undergraduate Student,
he6o11@mail.ru*

*VLADIMIR A. SLEPCHENKO, PhD, A/Professor,
vldslp@mail.ru*

*IRINA V. SLEPCHENKO, PhD, A/Professor,
slepsdm@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

COMPUTER-AIDED DESIGN OF HYDRAULIC EXCAVATOR IMPLEMENTS

The paper is devoted to the optimization of hydraulic excavator implements. Optimization is performed using the APM WinMachine CAD system. The load application to the excavator

implements is based on the strength and kinematic analysis of the excavator operation. The strength analysis is conducted for each design position, and the dependence is constructed for the maximum equivalent stress in cross-sections of the excavator assembly components due to the angle of the arm rotation that provides the optimization of the excavator implements.

Keywords: hydraulic excavator; metal structure optimization; finite element method.

Земляные работы могут составлять до 80 % от объема всего строительства. На сегодняшний день основной фронт земляных работ ложится на землеройную и землеройно-транспортную технику, такую как бульдозер, скрепер и экскаватор. Чаще всего главным в комплекте землеройных машин является экскаватор. Применение этой техники обширно, однако использование универсальных тяжелых гидравлических экскаваторов (рис. 1) ограничено размерами и объемом планируемых работ. Чем больше размерная группа экскаватора, тем выше цена конструкторской ошибки и тем острее стоит вопрос о модернизации и оптимизации параметров экскаватора.

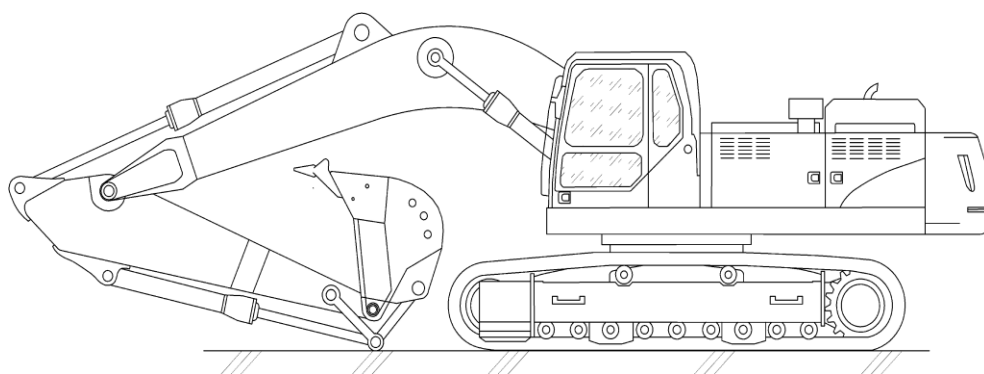


Рис. 1. Общий вид тяжелого универсального гусеничного гидравлического экскаватора

Поэтому было решено провести оптимизацию конструкции рабочего оборудования (РО) тяжелого гидравлического экскаватора на базе гусеничного шасси.

Патентный поиск выявил малое количество изобретений и полезных моделей, направленных именно на оптимизацию металлоконструкций рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов. Типовым решением по оптимизации рабочего оборудования гидравлического экскаватора является патент ЗАО «АТЕК» [4]. В заявке на изобретение предлагается выполнить равнопрочную конструкцию стрелы и за счёт этого уменьшить толщину металлопроката, что в свою очередь приведёт к снижению металлоёмкости, достигая при этом более высокого технического результата. Данные выводы перекликаются с предложениями и результатами, представленными в статье [9]. Используя данное предположение, мы решили провести оптимизацию металлоконструкции всего РО гидравлического экскаватора.

Для этого мы рассчитали основные кинематические и силовые параметры машины с целью определения наибольшего копающего усилия на зубьях ковша [3]. Итогом расчетов стала графическая зависимость максимального усилия копания на зубьях ковша при различных углах поворота рукояти (рис. 2).

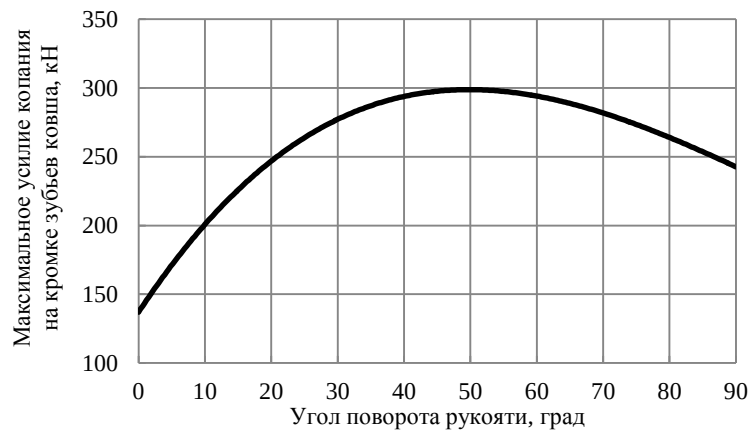


Рис. 2. График зависимости максимальной силы копания на зубьях ковша от угла поворота рукояти

В системе автоматизированного проектирования APM WinMachine было проведено исследование напряженного состояния металлоконструкции РО экскаватора с помощью полученной зависимости (рис. 2). В модуле САПР APM Structure 3D [1] построили трехмерную модель РО экскаватора (рис. 3). Так как данная система автоматизированного проектирования использует метод конечных элементов [5, 10], вся трехмерная модель РО была разбита на сетку конечных элементов в виде треугольных и четырехугольных пластин, пальцы и гидроцилиндры представлены в виде стержневых элементов [6, 7]. Между собой конструктивные элементы соединены в узлах со степенями свободы, полностью совпадающие с реальной конструкцией машины.

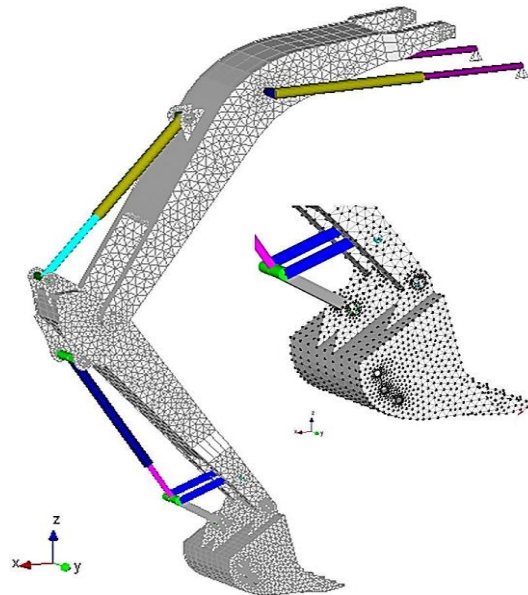


Рис. 3. Трехмерная модель рабочего оборудования тяжелого экскаватора

Первым этапом оптимизации был анализ напряженного состояния всего РО при различных углах поворота рукояти с ковшом в диапазоне от максимально отвернутой до максимально повернутой рукояти, т. е. в диапазоне от 0 до 90° [3].

Было рассмотрено шесть промежуточных положений рукояти. Для каждого расчетного положения проводился анализ напряженного состояния [8]. Была построена графическая зависимость максимального эквивалентного напряжения в сечениях сборочных единиц РО от угла поворота рукояти (рис. 4).

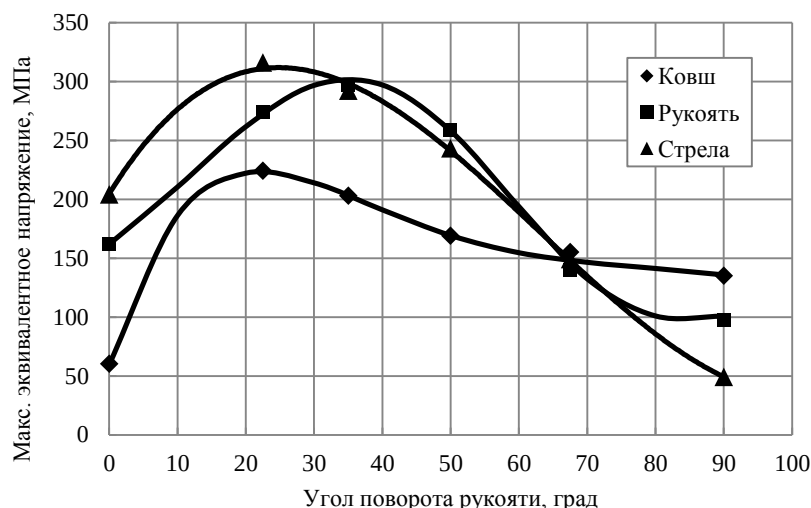


Рис. 4. График зависимости максимальной силы копания на зубьях ковша от угла поворота рукояти

Самым нагруженным расчетным положением с точки зрения максимальных эквивалентных напряжений в сечениях металлоконструкций является:

- для ковша и стрелы положение при угле поворота рукояти 22,5° (рис. 4, 5, а);
- для рукояти – угол поворота рукояти 35° (рис. 4, 5, б).

Максимально нагруженными частями элементов РО экскаватора являются:

- а) у стрелы – шарнир крепления гидроцилиндра перемещения стрелы и пластины вокруг него;
- б) у рукояти – проушина крепления гидроцилиндра поворота рукояти и пластина, к которой она приварена;
- в) у ковша – проушины крепления тяги поворота ковша и пластины, к которым она приварена.

Используя полученную карту распределения эквивалентных напряжений рабочего оборудования экскаватора, были оптимизированы составные части РО. Распределение эквивалентных напряжений представлены на рис. 6, б и 7, б. Для обеспечения долговечности конструкции за допускаемое максимальное напряжение приняли предел усталостной прочности материала [2] конструкции (для стали 10ХСНД – 328 МПа).

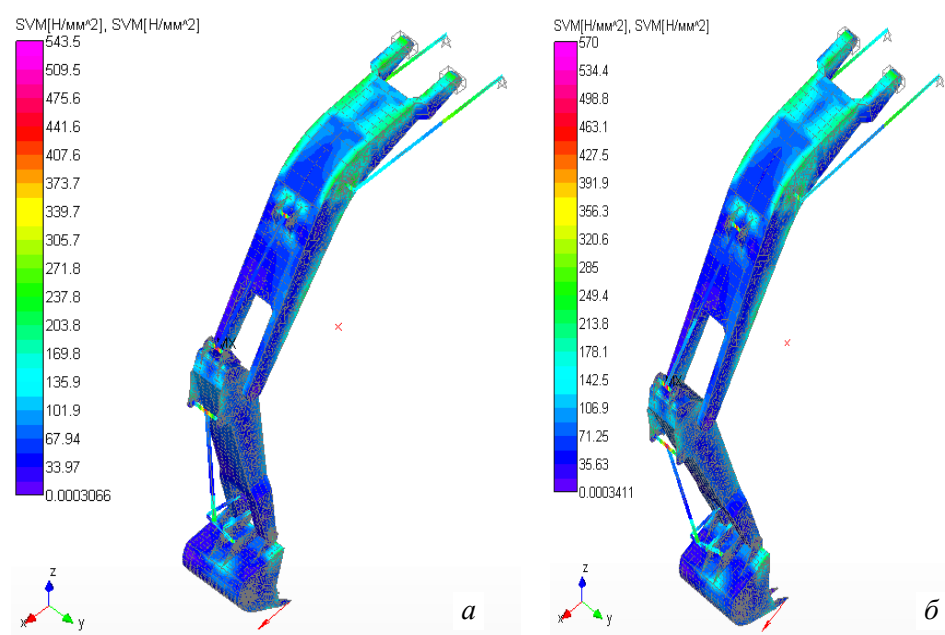


Рис. 5. Карта распределения эквивалентных напряжений при повороте рукояти на угол, град:
 а – 22,5; б – 35

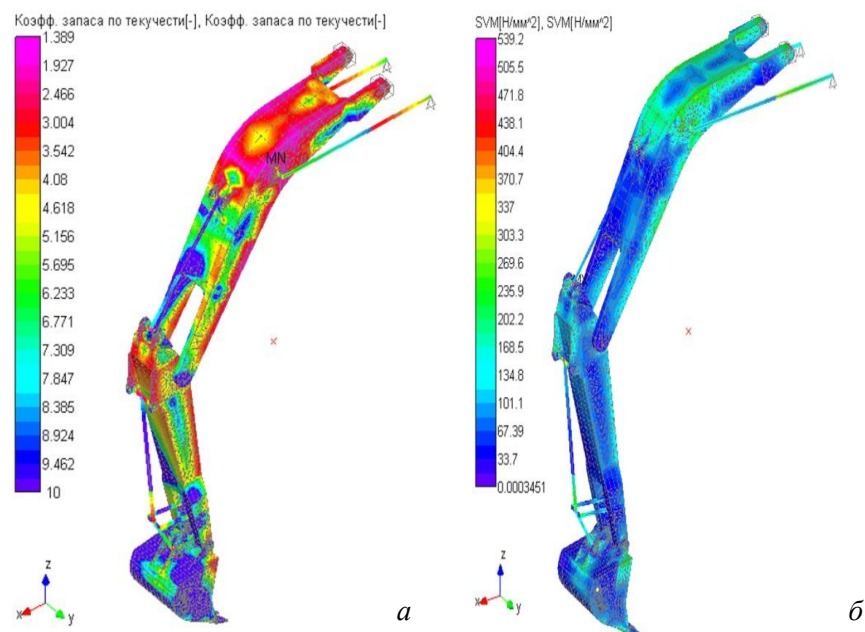


Рис. 6. Результаты оптимизации элементов РО экскаватора при угле поворота рукояти 22,5°:
 а – карта распределения коэффициента запаса прочности по пределу текучести;
 б – карта распределения эквивалентных напряжений

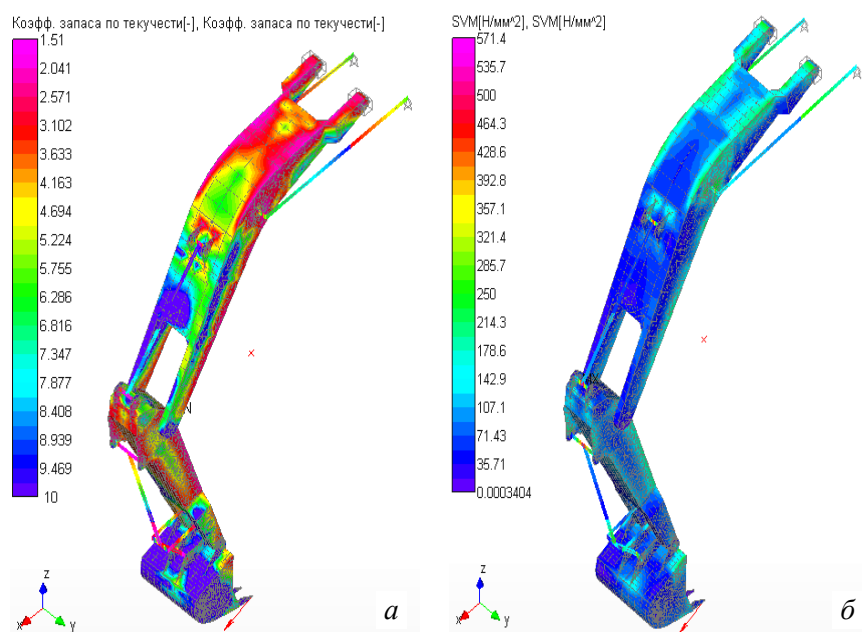


Рис. 7. Результаты оптимизации элементов РО экскаватора при угле поворота рукояти 35°:
а – карта распределения коэффициента запаса прочности по пределу текучести;
б – карта распределения эквивалентных напряжений

Благодаря оптимизации с использованием современной САПР были уменьшены массы составляющих РО, а именно: стрелы до 3720 кг с коэффициентом запаса прочности по пределу текучести 1,38 (рис. 6, а), рукояти до 3250 кг с коэффициентом запаса прочности по пределу текучести 1,51 (рис. 7, а) и ковша до 2050 кг с коэффициентом запаса прочности по пределу текучести 1,7 (рис. 8, а).

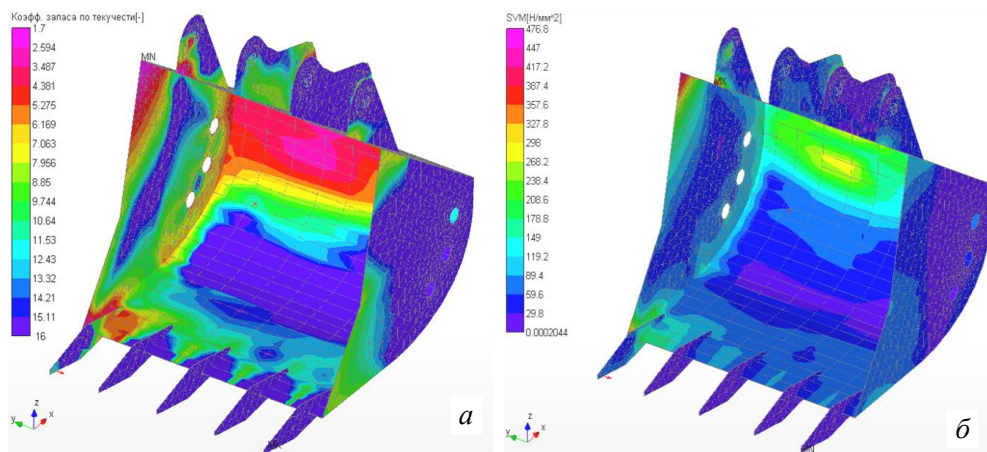


Рис. 8. Результаты оптимизации ковша:
а – карта распределения коэффициента запаса прочности по пределу текучести;
б – карта распределения эквивалентных напряжений

Результатом вышеперечисленных действий, при сохранении запаса прочностных характеристик элементов конструкции на прежнем уровне, стало снижение массы конструкции стрелы на 8 %, а рукояти на 15 %. Масса ковша осталась без изменения, что свидетельствует о высокотехнологичном подходе изготовления главного рабочего оборудования заводом-изготовителем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Замрий, А.А.* Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure3D / А.А. Замрий. – М. : Изд-во АПМ, 2004. – 208 с.
2. *Марочник сталей и сплавов* / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский [и др.] ; под общ. ред. Ю.Г. Драгунова, А.С. Зубченко. – 4-е изд., переработ. и доп. – М., 2014. – 1216 с.
3. *Машины для земляных работ.* Экскаватор одноковшовый гидравлический. Обратная лопата / сост. В.А. Слепченко. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2015. – 49 с.
4. *Пат. 2065003 E02F3.* Российская Федерация. Рабочее оборудование гидравлического экскаватора / Щербаков М.Г., Проскурин В.А., Олексенко В.В., Нелипа В.И., Данилов А.А., Здоренко С.В., Коропец Е.Н., Захаров Б.Н. ; заявитель и правообладатель ЗАО «АТЕК». – 5007441/03 ; заявл. 30.07.1991 ; опубл. 10.08.1996.
5. *Zienkiewicz, O.C.* Finite Element Method. V. 1. It's Basis & Fundamentals / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu. – Butterworth Heinemann, London, 2006.
6. *Finite Element Modelling of Excavation and Advancement Processes of a Shield Tunnelling Machine* / K. Komiya, K. Soga, H. Akagi, T. Hagiwara, M.D. Bolton. – 1999.
7. *Mehta, G.K.* Finite Element analysis and Optimization of an Excavator Attachments / G.K. Mehta, V.R. Lyer, J. Dave.
8. *Dhawale, R.M.* Finite Element Analysis of Components of Excavator / R.M. Dhawale, S.R. Wagh. – 2014.
9. *Özgen, C.* Shape Optimization of an Excavator Boom by Using Genetic Algorithm / C Özgen, K. İder, E. Söylemez. – 2008. – June.
10. *The Finite element method for engineers* / H. Huebner Kenneth, L. Dewhirst Donald, E. Smith Douglas, T.G. Byrom. – New York; Toronto : John Wiley & Sons, Inc., 2001.

REFERENCES

1. *Zamrii A.A.* Proektirovanie i raschet metodom konechnykh elementov v srede ARM Structure 3D [Finite element method in ARM Structure 3D]. Moscow: APM Publ., 2004. 208 p. (rus)
2. *Dragunov Yu.G., Zubchenko A.S., Kashirskii Yu.V., et al.* Marochnik staley i splavov [Steel and alloy grade guide]. Moscow, 2014. 1216 p. (rus)
3. *Slepchenko V.A.* Mashiny dlya zemlyanykh rabot. Ekskavator odnokovshovyi gidravlicheskiy. Obratnaya lopata [Earth-moving machines. Hydraulic mechanical shovel. Backhoe bucket]. Tomsk: TSUAB Publ., 2015. 49 p. (rus)
4. *Shcherbakov M.G., Proskurin V.A., Oleksenko V.V., Nelipa V.I., Danilov A.A., Zdorenko S.V., Koropets E.N., Zakharov B.N.* Rabochee oborudovanie gidravlicheskogo ekskavatora [Hydraulic excavator implements]. Pat. Rus. Fed. N 2065003 E02F3. 1996. (rus)
5. *Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z.* The finite element method: its basis and fundamentals. Butterworth Heinemann. London, 2006.
6. *Komiya K., Soga K., Akagi H., Hagiwara T., Bolton M.D.* Finite element modelling of excavation and advancement processes of a shield tunnelling machine, 1999.
7. *Mehta G.K., Lyer V.R., Dave J.* Finite element analysis and optimization of an excavator attachments.
8. *Dhawale R.M., Wagh S.R.* Finite element analysis of components of excavator, 2014.
9. *Özgen C., İder K., Söylemez E.* Shape optimization of an excavator boom by using genetic algorithm, 2008.
10. *Huebner K.H., Dewhirst D.L., Smith D.E., Byrom T.G.* The finite element method for engineers. New York; Toronto: John Wiley & Sons, Inc., 2001.