© В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков, 2016

УДК
622.23.054

В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНТУРНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДА

Рассмотрена проблема определения силовых и кинематических параметров законтурных исполнительных органов геохода. Предложено решение данной проблемы методом имитационного моделирования в среде MatLab/Simulink. Дано краткое описание принципов реализации модели на языке графического программирования Simulink, представлены некоторые результаты моделирования и их сравнение с полученными ранее по аналитическим зависимостям результатами.

Ключевые слова: геоход, исполнительный орган, законтурные каналы, имитационное моделирование, SimMechanics, Simulink, MatLab.

Геоходом называют проходческий агрегат, перемещение которого в горных породах осуществляется за счет взаимодействия с геосредой. Данное взаимодействие реализуется через систему лопастей на геоходе и систему образуемых законтурных каналов в проводимой выработке. Непосредственно за разрушение пород в законтурном массиве для формирования каналов с заданными профилем, размерами и требованиями к поверхностям канала и извлечение разрушенной породы из призабойного пространства от-

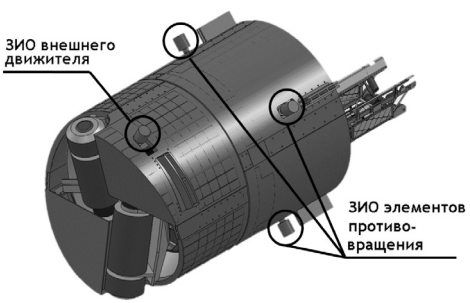


Рис. 1. Схемное решение геохода

вечают исполнительные орган формирования законтурных каналов (ЗИО). Выделяют ЗИО формирования каналов внешнего движителя и ЗИО формирования каналов элементов противовращения (рис. 1) [1].

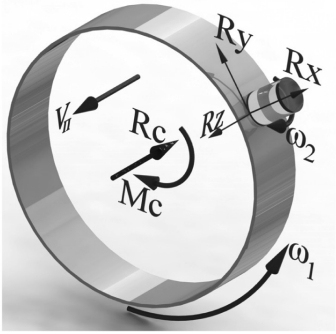
В ранее испытанных экспериментальных образцах геохода разрушение пород в каналах осуществлялось за счет усилий, создаваемых трансмиссией геохода – пассивными ЗИО, не имеющими самостоятельного привода.

В ходе реализации комплексного проекта, при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по договору № 02.G25.31.0076 ведется разработка геоходов для проведения выработок в породах крепостью от 1 до 5 единиц по шкале Протодьяконова [2]. В таких условиях исключается возможность применения пассивных ЗИО, что делает задачу разработки ЗИО для указанных условий работы актуальной.

Ряд схемных и конструктивных решений ЗИО был разработан сотрудниками кафедры горных машин комплексов КузГТУ [3–5]. Для сравнения и оценки разрабатываемых решений необходимо определять основные силовые и кинематические параметры ЗИО. Исходя из сформированных требований к системе [6] в качестве основных могут быть приняты следующие параметры: максимальное усилие на одиночном резце, мощность привода ЗИО, требуемый крутящий момент на приводе ЗИО, равнодействующие сил возникающих при резании горных пород, износ режущего инструмента.

Имеющиеся методики определения параметров резцовых ИО были рассмотрены в работе [7]. Существующие методики адаптированы под определенный класс машин (проходческие комбайны избирательного действия или очистные комбайны) и не позволяют производить определение всех требуемых параметров ЗИО геохода, но могут быть использованы в части определения усилий возникающих при резании пород. Для расчета параметров угледобывающих машин применялось имитационное моделирования [8–9], но реализация таких моделей достаточно сложна, а получаемые модели не могут быть применены для рассматриваемых исполнительных органов.

Для определения параметров ЗИО предлагается использовать имитационное моделирование в среде MatLab/Simulink. Модель в системе MatLab/Simulink представляет собой набор блоков определенного типа с соответствующими связями. Блоки-тела с характерными параметрами описывают геометрические и инерционные свойства тел. Блоки-связи характеризу-



Rx, Ry, Rz – боковые усилия, усилия резания и подачи на одиночном резце ЗИО;
Vп - направление подачи секции;
ω_1 – направление вращения секции (отсутствует для хвостовой секции);
ω_2 – направление вращения ЗИО;
Rc – реактивное осевое усилие от работы ЗИО;
Mc – реактивный момент от работы ЗИО

Рис. 2. Расчетная схема для определения параметров ЗИО

ют взаимное расположение тел и их относительные степени свободы. Блоки-сигналы количественно характеризуют силы, действующие на тела или движения реализуемыми телами.

Система связей между блоками разрабатываемой модели в соответствии с расчетной схемой (рис. 2) на языке Simulink представлена на рис. 3. Такая форма представления модели проста для понимая и более гибка при задании исходных параметров и проведении исследований.

В процессе моделирования, в окне MechanicalExporer, выводится анимированная визуализация работы системы, что позволяет предварительно оценивать результаты моделирования.

В качестве примера работы модели представлены результаты определения силовых и кинематических параметров при параметрах геохода и ЗИО указанных в таблице.

На рис. 4 представлены результаты определения координат резца по времени на ЗИО в неподвижной декартовой системе координат связанной с осью вращения геохода за период одного оборота геохода. Изменение координат резца во времени позволяет оценивать условия работы режущего инструмента и определять параметры износа. Верхний график был получен по аналитическим зависимостям представленным в работах [10–11], нижний – по модели Simulink. Различия в получаемых результатах отсутствуют.

На рис. 5 представлены результаты расчета требуемого крутящего момента на резание за один его оборот ЗИО. В отчете о НИР [1] данный параметр определялся последовательным определением усилий на каждом из резцов в 360 положениях ЗИО, что являлось достаточно трудоемкими процессом. Погрешность определения крутящего момента по двум методикам не превышает 2%.

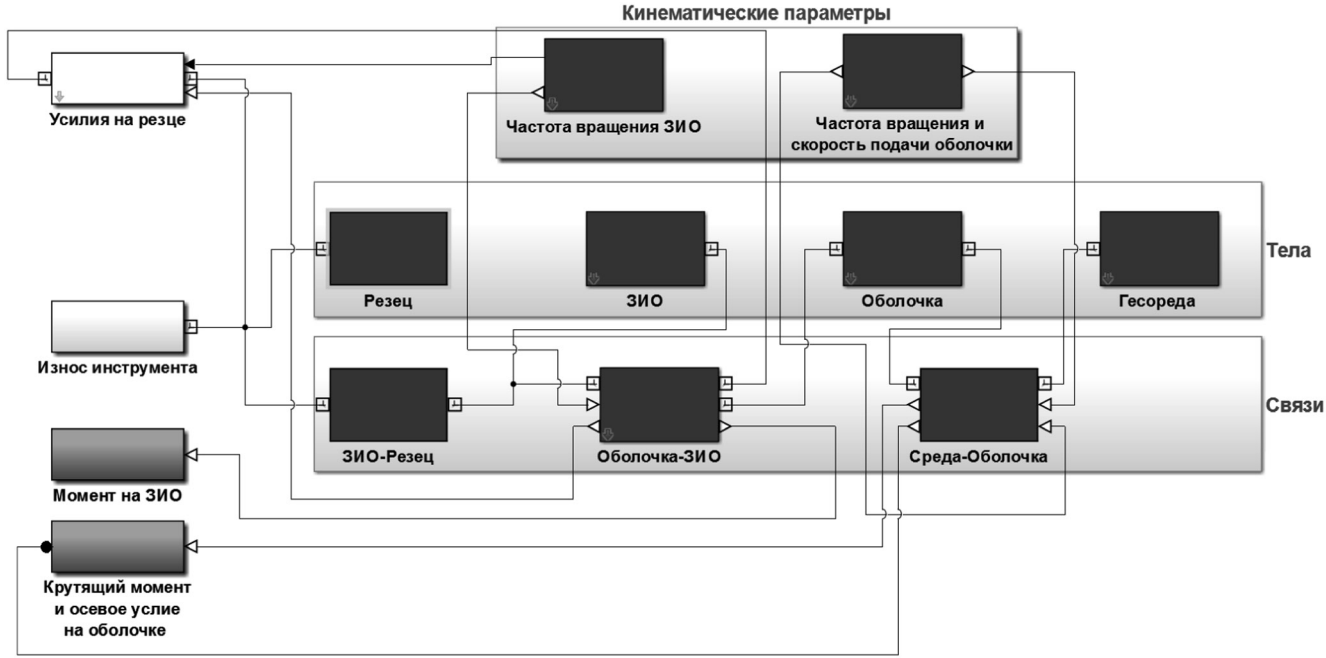


Рис. 3. Представление модели ЗИО геохода на языке Simulink

Принятые для моделирования параметры ЗИО и геохода

Наименование параметра	Значение	Единица измерения
Диаметр геохода	3,2	м
Крепость породы по Протодьяконову	5	ед.
Угол подъема винтовой лопасти	4,56	град
Частота вращения геохода	0,1	об/мин
Частота вращения ЗИО внешнего движителя	191	об/мин
Высота канала	0,15	м
Ширина канала	0,15	м
Толщина оболочки геохода	0,2	м

Имитационное моделирование в среде MatLab/Simulink может быть применено для определения основных параметров ЗИО. При этом обеспечиваются достаточно высокая точность получаемых результатов и простота изменения параметров. Адекватность модели для рассматриваемых параметров ЗИО подтверждается сравнением полученных по модели парамет-

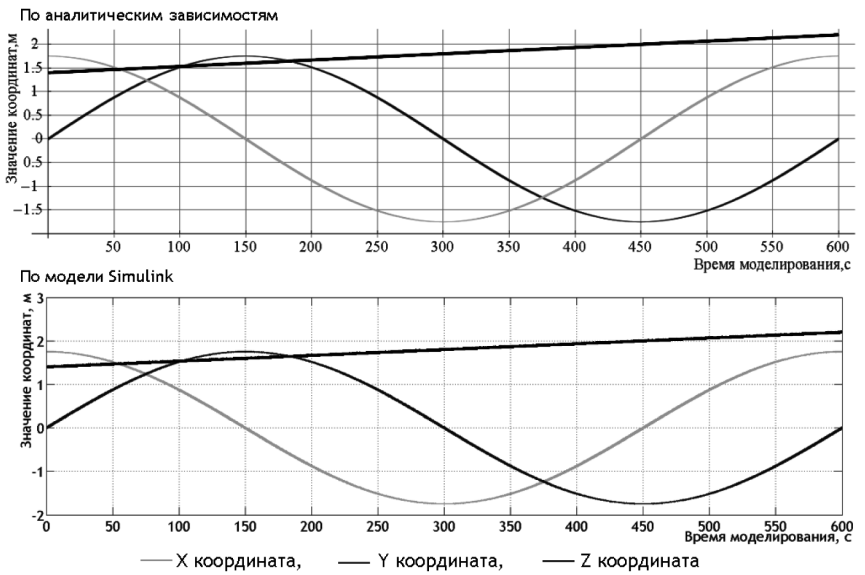


Рис. 4. Сравнение координат резца на ЗИО

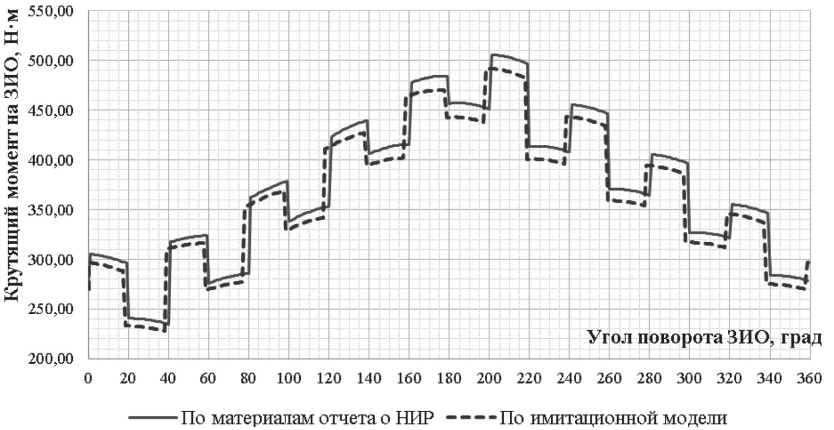


Рис. 5. Сравнение крутящего момента на ЗИО

ров с параметрами полученными ранее по аналитическим зависимостям для кинематических и силовых параметров.

Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор № 02.G25.31.0076, а также в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 «Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксенов В.В.* Создание нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения – геоходов: Научно-технический отчет (промежуточ.). ЮТИ ТПУ; № госрегистрации 01201374690. – Юрга, 2013. – 508 с.: ил.

2. *Аксенов В.В., Вальтер А.В.* Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. – 2014. – Т. 8. – № 3. – С. 945–949.

3. *Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н.* Разработка схемных решений исполнительных органов геоходов // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 3. – С. 73–76.

4. *Антонов Ю.А., Ковалев В.А., Нестеров В.И., Буялич Г.Д.* Совершенствование гидросистемы проходческого комбайна // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4(92). – С. 11–13.

5. *Хорешок А.А., Цехин А.М., Кузнецов В.В., Борисов А.Ю., Крестовоздвиженский П.Д.* Опыт эксплуатации рабочего инструмента испол-

нительных органов горных машин на шахтах Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 8–11.

6. *Ермаков А.Н., Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А.* Обоснование требований к исполнительным органам формирования законтурных каналов геохода // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 2(102). – С. 5–7.

7. *Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н.* Обзор и анализ методик определения параметров резцовых исполнительных органов / Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово, 2014. – С. 92–94.

8. Моделирование разрушения углей режущими инструментами. Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: Наука, 1981. – 181 с.

9. *Кондрахин В.П., Хиценко А.И.* Имитационное моделирование процесса резания горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 11. – С. 168–171.

10. *Пушкина Н.Б.* Разработка методов и программных средств проектирования исполнительных органов винтоповоротных проходческих агрегатов (на примере агрегата ЭЛАНГ), 1991.

11. *Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М.* Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 350 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Аксенов В.В. – доктор технических наук, профессор,
зав. лабораторией угольной геотехники Института угля СО РАН,
профессор Юргинского технологического института (филиала) ТПУ,
e-mail: 55vva42@mail.ru,
Хорешок А.А.[1] – доктор технических наук, профессор,
e-mail: haa.omit@kuzstu.ru,
Ананьев К.А.[1] – старший преподаватель, e-mail: ananiev_k@rambler.ru,
Ермаков А.Н.[1] – аспирант, e-mail: cnnb@yandex.ru,
[1] Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева.

UDC
622.23.054

V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, K.A. Ananiev, A.N. Ermakov

APPLICATION OF SIMULATION METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF OUT OF CROSS SECTION EXECUTIVE BODIES OF GEOKHOD

The problem of determining force and kinematic parameters of out of cross section executive bodies of geokhod is considered in. Brief description of the principles of implementation of the model in terms of graphical programming is presented. Some simulation results and their comparison with those obtained previously using analytical dependence of the results is also presented.

Key words: geokhod, tunneling, cutting drum, out of cross section grooves, mechanical simulation, SimMechanics, Simulink, MatLab.

AUTHORS

Aksenov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Laboratory, Institute of Coal of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Russia,
Professor, Yurga Institute of Technology of National Research
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia,
e-mail: 55vva42@mail.ru,
Khoreshok A.A.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: haa.omit@kuzstu.ru,
Anan'ev K.A.[1], Senior Lecturer, e-mail: ananiev_k@rambler.ru,
Ermakov A.N.[1], Graduate Student, e-mail: cnnb@yandex.ru,
[1] Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,
650000, Kemerovo, Russia.

REFERENCES

1. Aksenov V.V. *Sozdanie novogo vida shchitovykh prokhodcheskikh agregatov mnogotselevogo naznacheniya – geokhodov: Nauchno-tekhnicheskiy otchet YuTI TPU*; № gosregistratsii 01201374690 (Designs of new-type multi-purpose shield tunneling machnines—geohods: Scientific/technical report of Yurga Technology Institute of the Tomsk Polytechnic University, State Registration No. 01201374690), Yurga, 2013, 508 p.

2. Aksenov V.V., Val'ter A.V. *Nauchnoe obozrenie*. 2014. T. 8, no 3, pp. 945–949.

3. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Anan'ev K.A., Ermakov A.N. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2014, no 3, pp. 73–76.

4. Antonov Yu.A., Kovalev V.A., Nesterov V.I., Buyalich G.D. *Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2012, no 4(92), pp. 11–13.

5. Khoreshok A.A., Tsekhin A.M., Kuznetsov V.V., Borisov A.Yu., Krestovozdvizhenskiy P.D. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011, no 4, pp. 8–11.

6. Ermakov A.N., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Anan'ev K.A. *Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, no 2(102), pp. 5–7.

7. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Anan'ev K.A., Ermakov A.N. *Sbornik trudov XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podkhody k razvitiyu ugol'noy promyshlennosti»* (Russia Energy Security. New Approaches to Development in Coal Industry: The 16th International Conference Proceedings), Kemerovo, 2014, pp. 92–94.

8. Modelirovanie razrusheniya ugley rezhushchimi instrumentami. Institut gornogo dela im. A.A. Skochinskogo (Modeling of coal destruction by cutting tools. Skochinsky Institute of Mining), Moscow, Nauka, 1981, 181 p.

9. Kondrakhin V.P., Khitsenko A.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 11, pp. 168–171.

10. Pushkina N.B. *Razrabotka metodov i programmnykh sredstv proektirovaniya ispolnitel'nykh organov vintopovorotnykh prokhodcheskikh agregatov (na primere agregata ELANG)* (Development of methods and software tools for engineering effectors of screw-type tunneling machines (e.g. ELANG)), 1991.

11. Solod V.I., Getopanov V.N., Rachek V.M. *Proektirovanie i konstruirovanie gornykh mashin i kompleksov*. Uchebnik dlya vuzov (Engineering and design of mining machines and mining equipment sets. Textbook for high schools), Moscow, Nedra, 1982, 350 p.