УДК: 622.23.054

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДА МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ESTIMATION OF FORCE AND KINEMATIC PARAMETERS OF CUTTING DRUMS OF GEOKHOD

Аксенов Владимир Валерьевич[1,2],
доктор техн. наук, профессор, e-mail: 55vva42@mail.ru
Aksenov Vladimir V.[1, 2], Dr. Sc. (Engineering), prof.
Хорешок Алексей Алексеевич [1,2,3],
доктор техн. наук, профессор, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru
Khoreshok Aleksey A.[1, 2, 3], Dr. Sc. (Engineering), prof.
Ананьев Кирилл Алексеевич[3],
ст. преподаватель, e-mail: ananiev_k@rambler.ru
Ananiev Kirill A.[3], senior lecturer
Ермаков Александр Николаевич[3],
аспирант, e-mail: cnnb@yandex.ru
Ermakov Aleksander N.[3], post-graduate student

[1]Институт угля СО РАН, 650610, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS, 10 av.Leningradsky Kemerovo, 650065, Russian Federation.
[2]Юргинский технологический институт (филиал ТПУ), 652055, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
[2] Yurga Institute of Technology, 26 Leningradskaya Street, Yurga, 652055, Russian Federation
[3] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
[3]T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: *В статье 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.*

Abstract*: 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.*

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

Keywords*: geokhod, tunneling, cutting drum, out of cross section grooves, mechanical simulation, SimMechanics, Simulink, MatLab*

Геоходом называют проходческий агрегат, перемещение которого в горных породах осуществляется за счёт взаимодействия с геосредой [1,2]. 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 отвечают исполнительные орган формирования законтурных каналов (ЗИО). Выделяют ЗИО формирования каналов внешнего движителя и ЗИО формирования каналов элементов противовращения (рис. 1) [3].

В ходе реализации комплексного проекта, при финансовой поддержке Министерства образова-

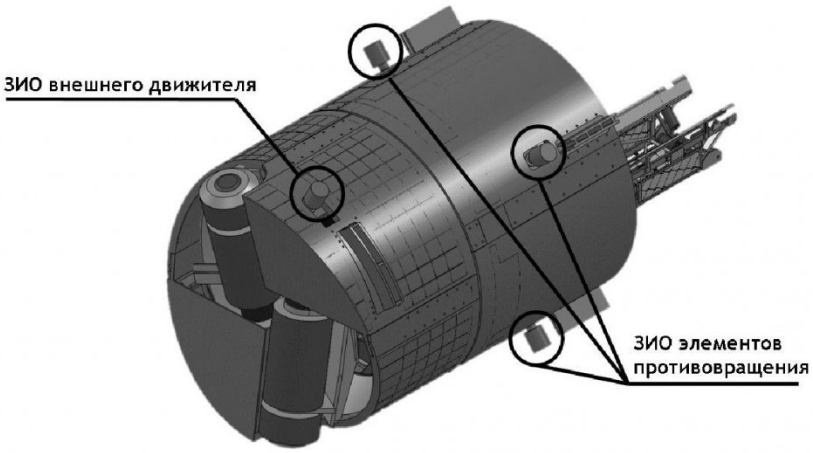


Рис. 1. Схемное решение геохода

Fig. 1. Scheme of geokhod

ния и науки РФ по договору №02.G25.31.0076 ведётся разработка геоходов для проведения выработок в породах крепостью от 1 до 5 единиц по шкале Протодьяконова [4]. В таких условиях исключается возможность применения пассивных ЗИО, т.е. не имеющих собственного привода, что делает задачу разработки активных ЗИО для указанных условий работы актуальной.

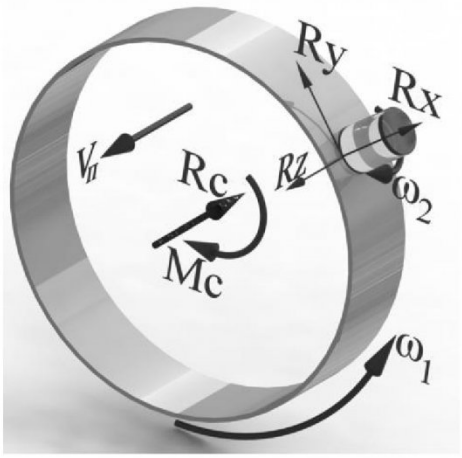
Для сравнения и оценки разрабатываемых решений [5-8] необходимо определять основные силовые и кинематические параметры ЗИО. Исходя из сформированных требований к системе [9] в качестве основных могут быть приняты следующие параметры: максимальное усилие на одиночном резце, мощность привода ЗИО, требуемый крутящий момент на приводе ЗИО, равнодействующие сил возникающих при резании горных пород, износ режущего инструмента.

Для определения параметров ЗИО предлагается использовать имитационное моделирование в среде MatLab/Simulink с библиотекой SimMechanics. Модель в системе MatLab/Simulink, в отличие от известных методик определения параметров исполнительных органов [10-12], представляет собой набор блоков определённого типа с соответствующими связями. Блоки-тела с характерными параметрами описывают геометрические и инерционные свойства тел. Блоки-связи характеризуют 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 расчётной схемой (рис. 2) на языке Simulink представлена на рис. 3. Такая форма представления модели проста для понимания и более гибка при задании исходных параметров и проведении исследований.

Преимуществом системы имитационного моделирования Simulink является возможность разработки библиотеки блоков, на основе которой составляются различных компоновки моделей. Это позволяет производить исследования для ЗИО различных типов и их различных параметров изменяя только один блок в модели.

В качестве примера работы модели представ-



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. Расчётная схема для определения параметров ЗИО корончатого типа

Fig. 2. A calculation scheme to determine the parameters of crown type out of cross section cutting drums

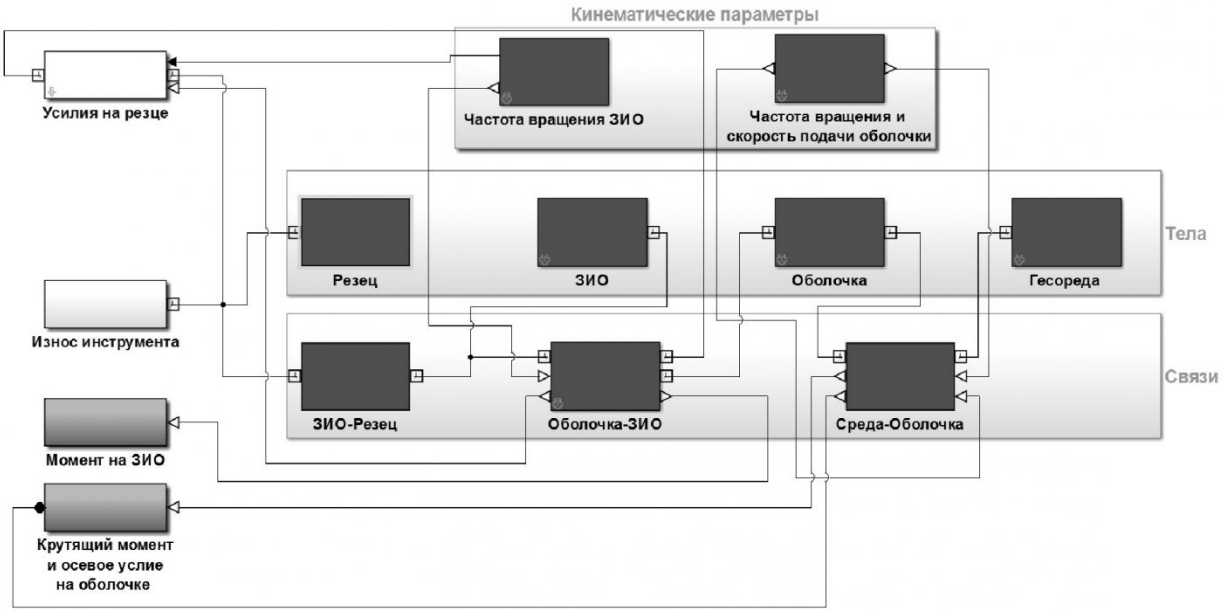


Рис. 3. Представление модели ЗИО геохода на языке Simulink

Fig. 3. Model view of geokhod's out of cross section cutting drums in a Simulink language

лены результаты определения силовых и кинематических параметров при параметрах геохода и ЗИО указанных в табл. 1.

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 [13-14], нижний – по модели Simulink. Результаты совпадают

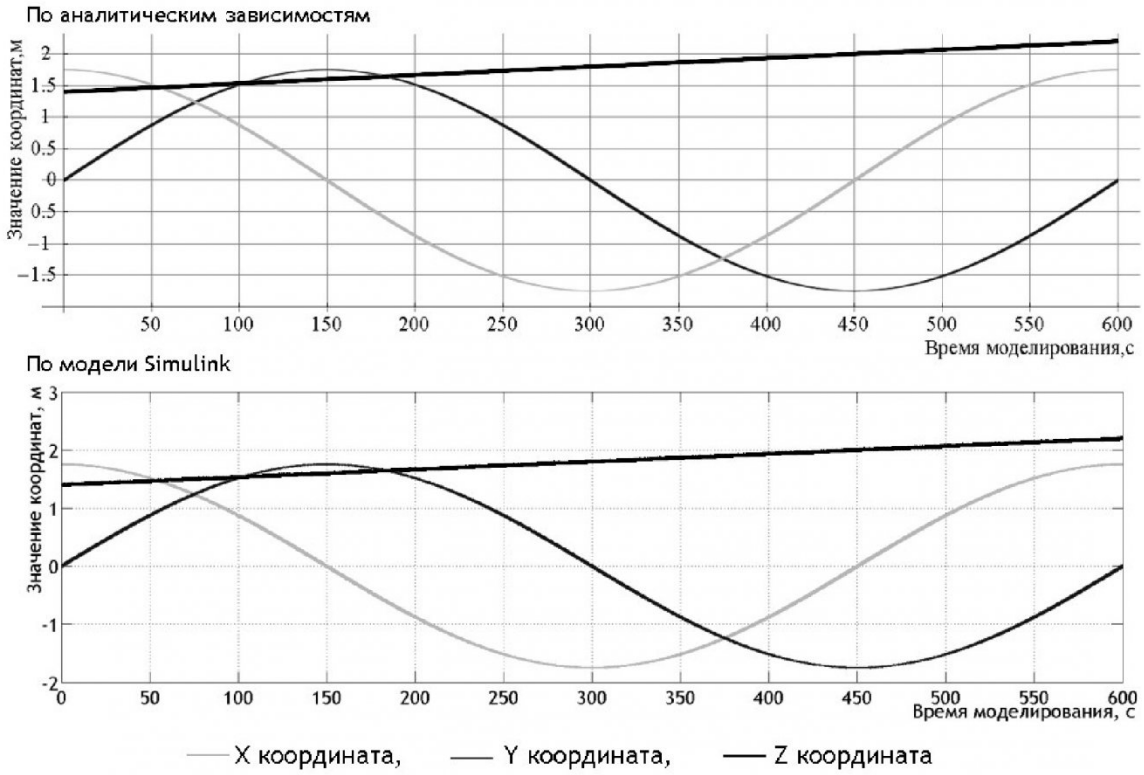


Рис. 4. Сравнение координат резца на ЗИО

Fig. 4. A comparison of the coordinates of the cutter on the out of cross section cutting drums

Таблица. 1.Принятые для моделирования параметры ЗИО
Table 1. Parameters adopted for the simulation of out of cross section cutting drums

Наименование параметра	Значение	Единица измерения
Диаметр геохода	3,2	м
Крепость породы по Протодьяконову	5	ед.
Угол подъёма 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

.

На рисунке 5 представлены результаты расчёта требуемого крутящего момента на резание за один его оборот ЗИО. В отчёте о НИР [2] данный параметр определялся последовательным определением усилий на каждом из резцов в 360 положениях ЗИО, что являлось достаточно трудоёмкими процессом. Погрешность определения крутящего момента по методике РД [15] и при помощи имитационной модели не превышает 2 %.

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

Полученная модель может быть использована для определения параметров исполнительных органов разрушения основного забоя [16].

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 Министерства образования и науки РФ 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».

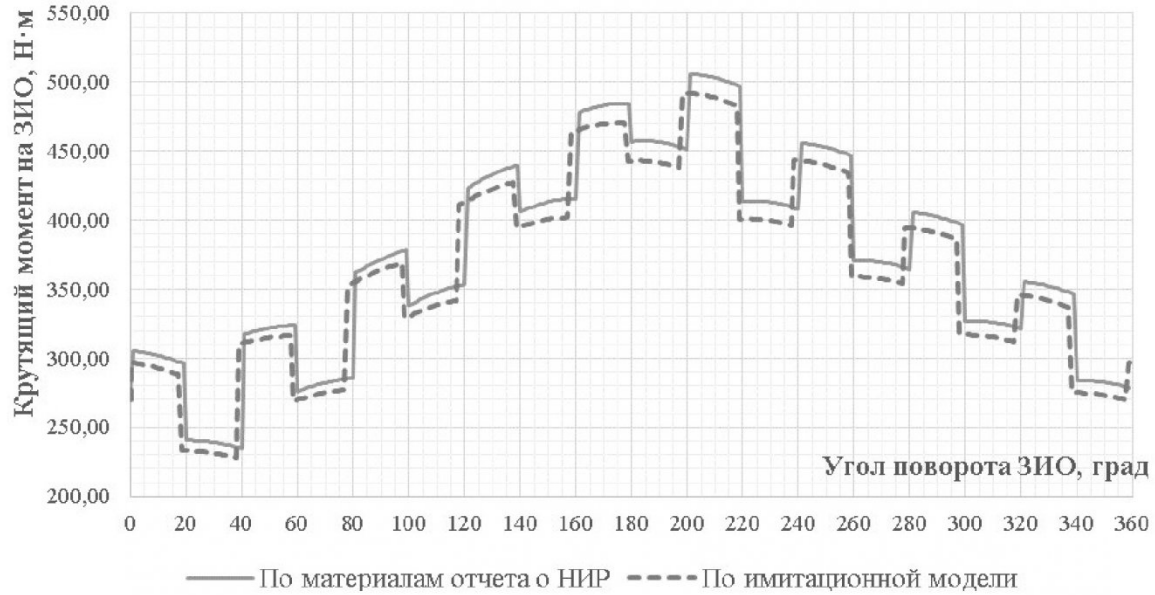


Рис. 5. Сравнение крутящего момента на ЗИО

Fig. 5. A comparison of the torques of the cutter on the out of cross section cutting drums

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, В.В. Особенности работы внешнего движителя геохода / И.К. Костинец, В.Ю. Бегляков. – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал. 2013. № S6. С. 419–425.

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

3. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2014. – №4 (65). – С. 19-28.

4. Специфика геохода как предмета производства / В.В. Аксенов, А.В. Вальтер // Научное обозрение. — 2014. — Т. 8, № 3. — с. 945–949.

5. Разработка схемных решений исполнительных органов геоходов / В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2014. — № 3. — с. 73–76.

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

7. Опыт эксплуатации рабочего инструмента исполнительных органов горных машин на шахтах Кузбасса / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, П.Д. Крестовоздвиженский // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — № 4. — с. 8–11.

8. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ананьев К. А., Ермаков А. Н. Определение глубины резания дискового законтурного исполнительного органа внешнего движителя геохода // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014. Материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово. 2014.

9. Обоснование требований к исполнительным органам формирования законтурных каналов геохода/ А.Н. Ермаков, В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2014. - № 2 (102). - с. 5–7.

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

11. Моделирование разрушения углей режущими инструментами / Институт горного дела им. А. А. Скочинского. — М: Наука, 1981. — 181 с.

12. Имитационное моделирование процесса резания горных пород / В.П. Кондрахин, А.И. Хиценко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2003. — № 11. — с. 168–171.

13. Пушкина, Н.Б., Разработка методов и программных средств проектирования исполнительных органов винтоповоротных проходческих агрегатов (на примере агрегата ЭЛАНГ) : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Пушкина Нина Борисовна. – Кемерово, 1991. – 126 с.

14. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов Учебник для вузов / В.И. Со-лод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. — Москва: Недра, 1982. — 350 с.

15. РД 12.25.137-89. Комбайны проходческие избирательного действия. Расчёт исполнительных органов. -М., 1989. -75 с.

16. Выбор принципиальной компоновочной схемы барабанных исполнительных органов разрушения забоя для геоходов /К. А. Ананьев, В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, А. Н. Ермаков //ГИАБ. 2014. № 11. С. 141-143.

REFERENCES

1. Aksenov, V.V. Osobennosti raboty vneshnego dvizhitelja geokhoda / I.K. Kostinec, V.Ju. Begljakov. – Gornyjj informacionno-analiticheskijj bjulleten' (nauchno-tekhnicheskijj zhurnal. 2013. # S6. p. 419–425.

2. Sozdanie novogo vida shhitovykh prokhodcheskikh agregatov mnogocelevogo naznachenija – geokhodov: Nauchno-tekhnicheskijj otchet (promezhutoch.) / JuTI TPU; Ruk. V. V. Aksenov. № gosregistracii 01201374690. – Jurga, 2013. – 508 p.: il.

3. Aksenov V.V., Val'ter A.V., Begljakov V.Ju. Obespechenie geometricheskojj tochnosti obolochki pri sborke sekcijj geokhoda // Obrabotka metallov (tekhnologija, oborudovanie, instrumenty) / Novosibirsk. – 2014. – №4 (65). – p. 19-28.

4. Specifika geokhoda kak predmeta proizvodstva / V.V. Aksenov, A.V. Val'ter // Nauchnoe obozrenie. — 2014. — V. 8, # 3. — p. 945–949.

5. Razrabotka skhemnykh reshenijj ispolnitel'nykh organov geokhodov / V.V. Aksjonov, A.A. Khoreshok, K.A. Anan'ev, A.N. Ermakov // Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenijj. Gornyjj zhurnal. — 2014. — # 3. — p. 73–76.

6. Sovershenstvovanie gidrosistemy prokhodcheskogo kombajjna / Ju.A. Antonov, V.A. Kovalev, V.I. Nesterov, G.D. Bujalich // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. — 2012. — #4 (92). — p. 11–13.

7. Opyt ehkspluatacii rabochego instrumenta ispolnitel'nykh organov gornykh mashin na shakhtakh Kuzbassa / A.A. Khoreshok, A.M. Cekhin, V.V. Kuznecov, A.Ju. Borisov, P.D. Krestovozdvizhenskijj // Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika. — 2011. — #4. — p. 8–11.

8. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Anan'ev K. A., Ermakov A. N. Opredelenie glubiny rezanija diskovogo zakonturnogo ispolnitel'nogo organa vneshnego dvizhitelja geokhoda//Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2014. Materialy XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kemerovo. 2014.

9. Obosnovanie trebovanijj k ispolnitel'nym organam formirovanija zakonturnykh kanalov geokhoda/ A.N. Ermakov, V.V. Aksjonov, A.A. Khoreshok, K.A. Anan'ev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. — 2014. — #2 (102). — p. 5–7.

10. Obzor i analiz metodik opredelenija parametrov rezcovykh ispolnitel'nykh organov/ V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, K.A. Anan'ev, A.N. Ermakov // Sbornik trudov XVI Mezhdunarodnojj nauchno-prakticheskojj konferencii «Ehnergeticheskaja bezopasnost' Rossii. Novye podkhody k razvitiju ugol'nojj promyshlennosti». — Kemerovo: 2014. — p. 92–94.

11. Modelirovanie razrushenija uglejj rezhushhimi instrumentami / Institut gornogo dela im. A. A. Skochinskogo. — M: Nauka, 1981. — 181 p.

12. Imitacionnoe modelirovanie processa rezanija gornykh porod / V.P. Kondrakhin, A.I. Khicenko // Gornyjj informacionno-analiticheskijj bjulleten' (nauchno-tekhnicheskijj zhurnal). — 2003. — #11. — p. 168–171.

13. Pushkina, N.B., Razrabotka metodov i programmnykh sredstv proektirovanija is-polnitel'nykh organov vintopovorotnykh prokhodcheskikh agregatov (na primere agregata EhLANG) : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.06 / Pushkina Nina Borisovna. – Kemerovo, 1991. – 126 p.

14. Proektirovanie i konstruirovanie gornykh mashin i kompleksov Uchebnik dlja vuzov / V.I. Solod, V.N. Getopanov, V.M. Rachek. — Moskva: Nedra, 1982. — 350 p.

15. RD 12.25.137-89. Kombajjny prokhodcheskie izbiratel'nogo dejjstvija. Raschjot ispolnitel'nykh organov. -M., 1989. -75 p.

16. Vybor principial'nojj komponovochnojj skhemy barabannykh ispolnitel'nykh organov razrushenija zaboja dlja geokhodov/K. A. Anan'ev, V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, A. N. Ermakov//GIAB. 2014. # 11. P. 141-143.

Поступило в редакцию 9.01.2016
Received 9 January 2016

УДК 625.76.08

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЧИСЛА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЯХ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

TECHNIQU CALCULATION NUMBER OF VEHICLES IN THE TRANSPORT OPERATIONS OF ASPHALT MIXES

Потеряев Илья Константинович,
к.т.н., e-mail: poteryaev_ik@mail.ru
Poteryaev Ilya K., C.Sc. (Engineering)

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 644080, г. Омск, пр. Мира 5
Siberian State Automobile and Highway Academy, 5 street Mira, Omsk, 644080, Russian Federation

Аннотация: *В статье указаны уравнения множественной регрессии полученные на основании статистических исследований в Республике Алтай. Представлена методика расчета числа транспортных средств в транспортных операциях асфальтобетонной смеси на основании уравнений множественной регрессии. В методике учитывается теплофизическая надежность доставки асфальтобетонной смеси.*

Abstract: *The article listed multiple regression equations derived on the basis of statistical research in the Republic of Altai. The technique of calculating the number of vehicles in the transport operations asphalt mix on the basis of multiple regression equations. The methodology takes into account the physical reliability of the heat-delivering asphalt mix.*

Ключевые слова: *Асфальтобетонная смесь, транспортное средство, уравнения множественной регрессии, уровень надежности, асфальтоукладчик, темп строительства.*

Keywords: *Asphalt mixture, vehicle, asphalt paver, regression equation, level of reliability, paver, the pace of construction*.

В Российской Федерации наибольшее применение находят асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог [1], на долю которых приходится свыше 60 % [2] от их общей протяженности. В 2008-2010 гг. на дорожную отрасль было выделено 849 млрд. рублей. В течение 2011-2020 гг. объемы дорожного строительства планируется увеличить в два раза [3].

В Распоряжении правительства Российской Федерации № 1734-р от 22 ноября 2008 г. указывается «недостаточно высокие темпы строительства и реконструкции автомобильных дорог» [4].

Повышение темпов строительства асфальтобетонных покрытий в значительной мере определяется разработкой новых методов расчета числа транспортных средств в транспортных операциях асфальтобетонной смеси [5, 6].

При строительстве асфальтобетонных покрытий темпы укладки и уплотнения сменных объемов асфальтобетонной смеси часто ограничиваются числом транспортных средств (ТС).

Обеспечение объектов строительства асфальтобетонной смесью с требуемыми свойствами гарантируется температурой и продолжительностью ее доставки, равномерной загрузкой приемного бункера асфальтоукладчика в течение смены, дополнительным оборудованием транспортных средств пологами, утеплителями, средствами для обогрева «платформы» выхлопными газами.

В методике расчета числа ТС в транспортных операциях асфальтобетонной смеси важно учитывать прогнозируемые темпы укладки и теплофизическую надежность доставки смеси [7, 8].

Число ТС в транспортных операциях асфальтобетонной смеси определяется по уравнениям множественной регрессии, полученным в результате экспериментально-статистических исследований в условиях строительства асфальтобетонных покрытий к мостовому переходу через р. Катунь у с. Усть-Сема и автомобильной дороги М-52 «Чуйский тракт» от Новосибирска через Бийск до границы с Монголией км 585+000 – км 595+000, закрытым акционерным обществом Научно-производственная компания «Дорожно-Строительные Технологии» (табл. 1).

Для условий транспортирования и укладки асфальтоукладчиком асфальтобетонной смеси с толщиной верхнего слоя 0,04 м потребное число ТС определяется с использованием выражения полученного из соответствующего уравнения множественной регрессии (1) [9]

$$N_{ts} = \left(\frac{T_{sm}}{1{,}31 \cdot \Pi_{asf}^{sm\,0{,}9} \cdot e^{0{,}005 \cdot \tau_{asy}}} \right)^{9{,}1}, \quad (1)$$

где N_{ts} – потребного числа ТС; T_{sm} – темп укладки покрытия; Π_{asf}^{sm} – сменная эксплуатаци-