

Л.П. Волкова, В.Н. Костин, П.Ю. Панкрушин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТРУГОВЫХ АГРЕГАТОВ И УСТАНОВОК В САПР

Рассмотрены особенности моделирования режимов работы струговых агрегатов и установок в системах автоматизированного проектирования. Определены возможности выбора параметров режимов работы в разных горно-геологических условиях. Отмечены преимущества моделирования режимов работы струговых агрегатов и установок в свете решения задач перехода к технологии добычи угля без постоянного присутствия человека в очистном забое.

Ключевые слова: струговые агрегаты, струговые установки, системы автоматизированного проектирования, режимы работы, технология добычи угля без постоянного присутствия человека в очистном забое.

Решение задачи перехода к технологии добычи угля без постоянного присутствия человека в очистном забое по-прежнему остается актуальной. Это связано с необходимостью совершенствования очистных комплексов, автоматизацией технологических операций в забое. В этой связи перспективной является фронтальная поточная технология выемки угля с применением угледобывающих агрегатов [1]. При такой технологии может достигаться полная механизация основных и вспомогательных процессов, совмещение их во времени и по длине очистного забоя, причем передвижение агрегата в плоскости пласта обеспечивает подачу исполнительного органа на забой. Агрегат движется на забой фронтально, имеет значительную протяженность по длине лавы и состоит из элементов с индивидуальными приводами, увязанных между собой кинематически и конструктивно. Для направленного передвижения агрегата в плоскости пласта необходимо средство задания направленности движения. Таким средством является база агрегата. Изменение гипсометрии почвы пласта по лаве, а также непараллельность и кривизна

штреков, вызывают изменение длины лавы. Компенсация несоответствия длины лавы и агрегата осуществляется изменением его положения в плоскости пласта, причем наибольшая маневренность агрегата в плоскости пласта достигается при управлении с изменением прогиба базы [2, 3].

По мере подвигания забоя осуществляется подхватывание обнажаемой кровли козырьками базовых секций крепи, подвигание которых обеспечивается одновременно с подвиганием конвейера и направляющих исполнительного органа. Исполнительный орган агрегата предназначен для отделения угля от массива и погрузки его на забойный конвейер. Исполнительный орган состоит из верхней и нижней ветвей, направляющих, приводов и струговых кареток, объединенных друг с другом и с приводом круглозвенной цепью. Конвейер является основной частью базы агрегата, на нем установлены нижние направляющие исполнительного органа. Верхние направляющие подвешены на перекрытиях базовых секций, которые шарнирно связаны с конвейером. Таким образом, подвигание базы конвейера обеспечивает одновремен-

ную подачу исполнительного органа на забой и подхватывание обнажаемой кровли по всей длине забоя [2] .

На тонких пластах, в рассмотренных выше аспектах, остается актуальной автоматизация управления режимами работы струговых установок, а также интеллектуализация при разработке новых проектных решений в САПР струговых установок [4, 5, 6].

Исполнительный орган струговой установки – это струг, который при помощи цепи перемещается по конвейеру вдоль лавы. Приводы струга и конвейера вынесены на штреки, т.е. находятся в местах, наиболее доступных и удобных для обслуживания. В процессе работы струга обеспечивается погрузка угля на призабойный конвейер, что исключает ручную зачистку или применение специальных погрузочных устройств. Подача на забой скребкового конвейера и перемещающегося по нему струга осуществляется гидродомкратами механизированной крепи.

Основной целью разработки системы автоматизированного проектирования струговых агрегатов и установок является повышение их силовых, режимных и энергетических параметров. Создание проектных решений с такими оптимальными параметрами позволит существенно повысить производительность создаваемых по этим проектам струговых агрегатов и установок.

Известно, что автоматизация проектирования позволяет многократно рассчитывать отдельные составляющие объекта проектирования, обосновывать и выбирать оптимальные варианты. Причем, отличительной чертой технологии автоматизированного проектирования является возможность многоуровневого моделирования функциональных характеристик и конструкций СА и СУ.

Создание добычных машин повышенной энерговооруженности и на-

дежности, обеспечивающих высокие показатели производительности, может быть достигнуто повышением основных показателей горных машин и комплексов на всех этапах их жизненного цикла, и, прежде всего на стадии проектирования, путем использования прогрессивных методов проектирования. К ним относятся современные методы обоснования рациональных структур и параметров горных машин на базе системного подхода и широкого использования систем автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют произвести анализ и синтез исследуемого объекта и на их основании сделать вывод о требуемой структурной и параметрической оптимизации. В этой связи актуальным является моделирование режимов работы струговых агрегатов и установок в САПР. Учитывая особенности работы и тех и других, более подробно описанные в работах, на которые мы ссылаемся выше, для струговых агрегатов целью моделирования режимов работы в САПР струговых агрегатов и установок является структурная оптимизация, а для струговых установок – параметрическая.

Технологический процесс выемки полезного ископаемого обуславливает определенную форму и направленность забоя в плоскости пласта. При работе стругового агрегата для обеспечения надежности узлов агрегата необходимо обеспечивать их определенное положение в плоскости пласта. Кроме того, непараллельность и кривизна штреков изменяют длину лавы. Компенсировать несоответствие длины лавы и агрегата можно путем изменения его положения в плоскости пласта, что связано с необходимостью ремонта агрегата в новый забой, наладки систем управления и автоматики. Этот процесс является весьма трудоемким и приводит к потерям времени и снижению

производительности труда, поэтому очистной агрегат должен переводиться из одного забоя в другой без перемонтажа. Для этого он должен обладать такой маневренностью в плоскости пласта, которая позволяла бы ему разворачиваться вокруг одного фланга. Применительно к автоматизированным агрегатам процесс их разворота из одного забоя в другой без перемонтажа является особенно актуальным и экономически необходимым [1, 2].

Подсистема управления очистным агрегатом в плоскости пласта в структуре агрегата является одним из функциональных элементов системы передвижения агрегата по пласту и связью между базой и механизированной крепью. Она состоит из: опорного механизма – секции крепи, системы поддержания прямолинейности, базы и режущей части исполнительного органа, обрабатывающей грудь забоя. При моделировании этой подсистемы выходными параметрами являются глубина резания исполнительным органом по забою и параметры положения агрегата в плоскости пласта: угол между пролетами модулей базы, прогиб базы и угол встречи осей базы и штрека. Входным параметром этой подсистемы является управляющее воздействие на систему поддержания прямолинейности [2].

В процессе перемещения базы агрегата на забой скорости выдвижения всех гидроцилиндров постоянны и равны между собой. При появлении пробуксовки секции, в том числе и из-за возможной непараллельности штреков, происходит нарушение прямолинейности управляющего элемента. Между его секциями образуется угол рассогласования, который является информацией о состоянии положения базы, а также сигналом для восстановления ее прямолинейности. В регуляторе потока изменяется рас-

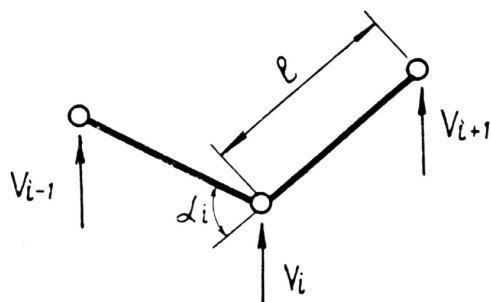


Рис. 1. Схема взаимодействия модулей базы при изменении ее положения в плоскости пласта

ход жидкости, подаваемой в поршневую полость гидроцилиндра, что приводит, в свою очередь, к изменению скорости перемещения соответствующей секции управляющего элемента и восстановлению прямолинейности базы на данном участке [2]. При маневрировании агрегата относительное положение базы в плоскости пласта изменяется. На рис. 1 показана схема взаимодействия двух пролетов базы при изменении ее положения. При движении базы ее пролеты изменяют относительное положение вследствие неравенства скоростей гидроцилиндров. При этом угол между пролетами изменяется и в шарнире базы появляется угловая скорость, которую можно выразить уравнением:

$$\frac{d\alpha_i}{dt} = \frac{\Delta V_{i-1} + \Delta V_{i+1} - 2\Delta V_i}{l} \quad (1)$$

где ΔV_{i-1} , ΔV_{i+1} , $2\Delta V_i$ – приращения скоростей выдвижки соответствующих гидроцилиндров; l – длина пролета модуля базы.

Таким образом, для компенсации несоответствия длины лавы и агрегата при непараллельности штреков, также необходимо изменение его положения в плоскости пласта путем разворота вокруг одного фланга. Для реализации этого процесса необходимо управлять разворотом агрегата в автоматическом режиме, причем фор-

мирование сигнала управления может осуществляться разными способами. Одним из наиболее экономичных способов представляется формирование управляющего сигнала при моделировании режима работы агрегата в реальном времени. Особый интерес представляет разработка модели. При этом за основу могут быть взяты разные исходные принципы. Одним из таких принципов является использование при моделировании искусственных нейронных сетей [3]. Для обучения нейронной сети должна использоваться предварительная информация о непараллельности штреков. Для этой цели может быть использована маркшейдерская информация о непараллельности штреков, которая формируется после выполнения проходческих работ. Нейронные сети могут применяться как для модели, так и для формирования управляющего сигнала, причем для обучения этих сетей может использоваться одна и та же информация.

Процесс проектирования струговых установок предусматривает определение основных энергетических, механических и конструктивных параметров струговых установок в соответствии с определенной последовательностью, которую можно условно назвать сценарием САПР струговых установок [7].

Струговые установки (СУ) включают в себя угледобывающую машину – струг и транспортирующую машину – конвейер. При проектировании СУ необходимо согласовывать параметры этих машин в соответствии с производительностью струговых установок. В связи с этим на стадии проектирования СУ важным этапом является расчет параметров системы «струг – конвейер» по заданной производительности СУ. Этот же вопрос является важным и на стадии поверочного расчета.

Моделируя процесс проектирования СУ, необходимо согласовать показатели струга и конвейера, причем наиболее важным параметром СУ в данном случае является допустимая толщина среза угля при заданной производительности. Этот параметр в зависимости от конструктивной схемы СУ может зависеть от многих параметров, определяющих разнообразные режимы работы СУ таких, как:

- скоростной режим (струг отстающий / опережающий);
- схема работы (односторонняя / челноковая);
- направление грузопотока (встречное / попутное).

Струговые установки, проектируемые для тех или иных регионов страны и имеющие разнообразные конструктивные решения, могут иметь 16 режимов работы [10]. При этом для каждого режима необходимо определить требуемую толщину среза угля резами струга. Существует методика расчета допустимой толщины среза [10], в которой учитываются такие параметры, как:

- площадь поперечного сечения грузопотока конвейера – F ;
- высота грузопотока – H ;
- отношение скоростей струга и тягового органа конвейера – c ;
- коэффициент равномерности грузопотока – λ ;
- коэффициент разрыхления угля – φ .

В работах [8, 9] представлен модуль, определяющий максимальную толщину среза при моделировании одного режима работы СУ. В данной работе предлагается модифицированный модуль, позволяющий определять допустимую толщину среза угля для всевозможных режимов работы СУ.

Производительность установки должна равняться производительности конвейера с переменным в общем случае грузопотоком и не превышать

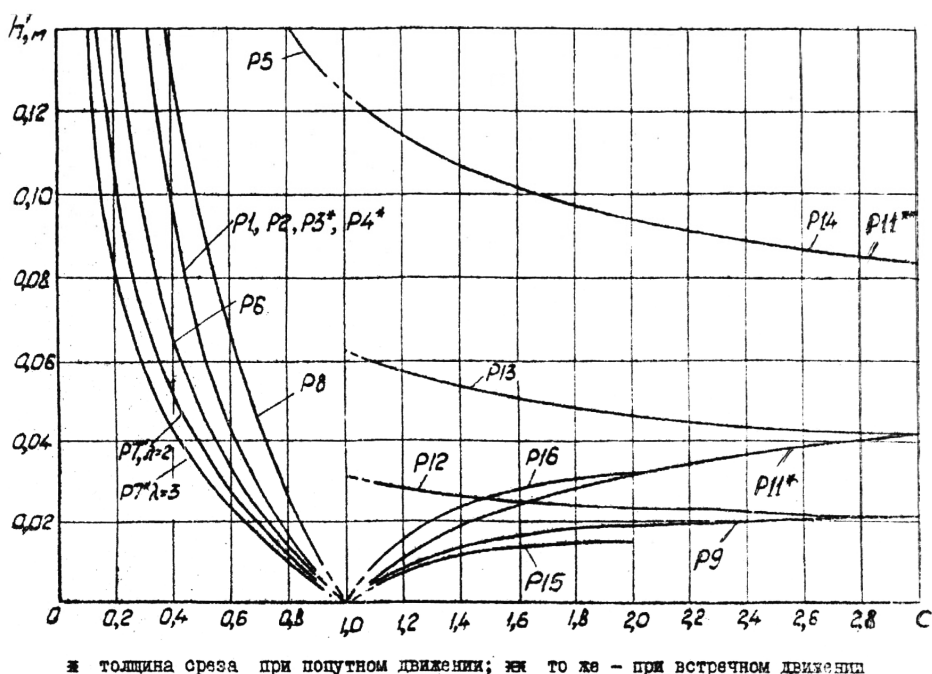


Рис. 2. Зависимость допустимой толщины среза от соотношения скоростей и режимов работы струговой установки (при $F^1 = 0,1$ м, $H^1 = 1$ м, $\varphi^1 = 1,6$)

производительности при равномерном наибольшем грузопотоке. При этом в работе [10] предлагается формула для определения допустимой толщины среза угля:

$$h = h^1 \frac{10\varphi^1}{H\varphi} F, \text{ м,}$$

где h^1 – допустимая толщина среза за один проход при $F^1 = 0,1$ м, $H^1 = 1$ м, $\varphi^1 = 1,6$ (коэффициент разрыхления угля).

Для определения h^1 при разных соотношениях скоростей струга и конвейера и режимов работы в отраслевой методике [10] на рис. 2 используется номограмма, приведенная ниже.

Для организации автоматизированного расчета допустимой толщины среза угля было принято решение: кривые номограмм для h^1 аппроксимировать полиномами второго порядка методом наименьших квадратов [11], в которых функцией является h^1 ,

а аргументом является соотношение скоростей струга и конвейера – c .

Аппроксимация была проведена для каждой кривой, относящейся к одному из шестнадцати режимов, описанных в методике [10]. Другими словами допустимая толщина среза h^1 может определяться по полиному:

$$h^1 = A_2 c^2 + A_1 c + A_0,$$

где c – переменная в полиноме; A_2 , A_1 , A_0 – аппроксимирующие коэффициенты полинома.

В связи с изменением определения допустимой толщины среза в САПР СУ введен новый модуль, определяющий толщину среза для СУ, имеющих различные конструктивные схемы.

Моделирование в САПР позволяет уже на стадии проектирования выбрать для вновь разрабатываемых струговых установок наиболее подходящий режим работы, позволяющий достичь максимальной произво-

дительности в заданных горно-геологических условиях. Что касается струговых агрегатов, то здесь моделирование в САПР также позволяет подобрать наиболее рациональный режим выдвиги гидроцилиндров, обеспечивающий необходимый изгиб базы агрегата для прохождения забоев по возможности без перемонтажа агрегата. При проектировании агрегата в САПР важно отработать все возможные рабочие режимы работы агрегата [2] путем моделирования. Кроме того, при моделировании про-

хождения агрегатом участков с учетом непараллельности штреков могут определяться не только характеристики структурных преобразований базы агрегата, но и параметры преобразований, таких как угол между пролетами модулей базы и приращения скоростей выдвиги соответствующих гидроцилиндров. При моделировании режимов работы в САПР практическую роль может сыграть визуализация процесса прохождения струговым агрегатом непараллельных штреков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кантович Л.И., Пастоев И.Л. Проблема управляемости автоматизированных агрегатов и комплексов при работе на пологих пластах без присутствия людей в забое // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – ОВ 1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка–2010». – С. 410–420.
2. Панкрушин П.Ю. Разработка программы расчета параметров при управлении фронтальным струговым агрегатом в плоскости пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – ОВ 6. Информатизация и управление. – С. 631–644.
3. Волкова Л.П., Панкрушин П.Ю. Особенности управления струговым агрегатом в условиях непараллельности штреков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 6. – С. 169–174.
4. Костин В.Н., Волкова Л.П. Разработка интеллектуального планировщика для САПР струговых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 10. – С. 326–330.
5. Волкова Л.П. Перспективы применения информационных технологий при создании роботизированных комплексов для выемки угля / Проблемы характеризационного анализа и логического управления: Академический сборник научных трудов. – М., 1999.
6. Волкова Л.П. О применении интеллектуальных технологий в системах управления электроприводом струга // Информационная математика. – 2005. – № 1.
7. Волкова Л.П., Разумов М.В. Разработка алгоритма сценария для САПР струговых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 8. – С. 145–147.
8. Волкова Л.П., Разумов М.В., Костин В.Н. Создание САПР струговых установок на базе отраслевых методик, теоретических и экспериментальных исследований // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 12. – С. 176–177.
9. Разумов М.В., Волкова Л.П., Костин В.Н. Концепция алгоритма автоматизированного проектирования струговых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 3. – С. 358–360.
10. Машины очистные. Струговые установки. Расчет параметров системы «струг-конвейер». Методика. РТМ12.47.003–74.
11. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М., 1962. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Волкова Людмила Петровна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Volkova_LP@mail.ru, Костин Виталий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: iitem1@yandex.ru, Панкрушин Петр Юрьевич – преподаватель, e-mail: aldamor@mail.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

MODELING OF OPERATING MODES OF STRUGOVY UNITS AND INSTALLATIONS IN SAPR

Volkova L.P., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: Volkova_LP@mail.ru,
Kostin V.N., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: iitem1@yandex.ru,
Pankrushin P.Yu., Lecturer, e-mail: aldamor@mail.ru,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

Features of modeling of operating modes of strugovy units and installations in systems of the automated design are considered. Possibilities of a choice of parameters of operating modes in different mining-and-geological conditions are defined. Advantages of modeling of operating modes of strugovy units and installations in the light of the solution of problems of transition to technology of coal mining without continuous presence of the person at a clearing face are noted.

Key words: strugovy units, strugovy installations, systems of the automated design, operating modes, technology of coal mining without continuous presence of the person at a clearing face.

REFERENCES

1. Kantovich L.I., Pastoev I.L. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2010, special issue 1. Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka–2010» (Miner's Week–2010 Symposium Proceedings), pp. 410–420.
2. Pankrushin P.Yu. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2011, special issue 6. Informatizatsiya i upravlenie (Computerization and management), pp. 631–644.
3. Volkova L.P., Pankrushin P.Yu. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 6, pp. 169–174.
4. Kostin V.N., Volkova L.P. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 10, pp. 326–330.
5. Volkova L.P. *Problemy kharakterizatsionnogo analiza i logicheskogo upravleniya: Akademicheskii sbornik nauchnykh trudov* (Problems of characterization analysis and logical control. Academic collection of scientific papers), Moscow, 1999.
6. Volkova L.P. *Informatsionnaya matematika*. 2005, no 1.
7. Volkova L.P., Razumov M.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2003, no 8, pp. 145–147.
8. Volkova L.P., Razumov M.V., Kostin V.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2001, no 12, pp. 176–177.
9. Razumov M.V., Volkova L.P., Kostin V.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2008, no 3, pp. 358–360.
10. *Mashiny ochistnye. Strugovye ustanovki. Raschet parametrov sistemy «strug-konveier». Metodika. RTM12.47.003–74* (Winning machines. Ploughing plants. Calculation of plough-conveyor system parameters. Procedure RTM12.47.003–74).
11. Linnik Yu.V. *Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nablyudenii* (The least-square method and fundamentals of mathematical-statistical theory of observation data processing), Moscow, 1962.



**ОТДЕЛЬНЫЕ ВЫПУСКИ
ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ,
ИЗДАНЫЕ В 2014 г.**

**Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2014», ОВ-1
Горная механика и транспорт, ОВ-2 (готовится к выпуску)
Промышленная безопасность, ОВ-3
Нефть и газ, ОВ-4
Организация и управление горным предприятием, ОВ-5**