

4. Крижановский, Е. И. Влияние бурового раствора на выносливость замковых соединений [Текст] / Е. И. Крижановский // Физико-химическая механика материалов. — 1977. — № 3. — С. 99–101.
5. Івасів, В. М. Методи та засоби управління бурильною колоною для забезпечення її надійності [Текст]: дис. д-ра. техн. наук: 05.05.12 / В. М. Івасів. — Івано-Франківськ, 1999. — 290 с.
6. Baryshnikov, A. Fatigue strength of conical threaded connection [Text] / A. Baryshnikov, M. Beghini, L. Bertini, W. Rosellini // Congresso AIAS XXX. — In Italian, 2001.
7. Vaisberg, O. Fatigue of Drillstring: State of the Art [Text] / O. Vaisberg, O. Vincke, G. Perrin, J. P. Sarda, J. B. Fay // Oil & Gas Science and Technology. — 2002. — Vol. 57, № 1. — P. 7–37. doi:10.2516/ogst:2002002
8. Басарыгин, Ю. М. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин [Текст]: учебник / Ю. М. Басарыгин, А. И. Булатов, Ю. М. Проселков. — М.: Недра, 2000. — 679 с.
9. Шадрина, А. В. Исследование процессов циклической деформации резьбовых соединений бурильных труб как упруго-фрикционной системы [Текст] / А. В. Шадрина, Л. А. Саруев // Технология и техника геологоразведочных наук. — 2008. — № 1. — С. 51–54.
10. Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени [Текст] / В. П. Когаев. — М.: Машиностроение, 1977. — 232 с.
11. Огородніков, П. І. Хвильові процеси у бурильній колоні як гнучкій системі [Текст] / П. І. Огородніков, В. М. Світлицький, Б. М. Малярчук // Нафтова і газова промисловість. — 2010. — № 3. — С. 16–19.
12. Schlumberger. Drilling Dynamics. Sensors and Optimization [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.slb.com/drilling.aspx
13. Абубакиров, Ф. А. Профилактика аварий при бурении скважин на объектах ООО «Башнефть-Добыча» [Текст] / Ф. А. Абубакиров // Инженерная практика. — 2012. — № 2. — С. 78.
14. Лачинян, Л. А. Работа бурильной колонны [Текст] / Л. А. Лачинян. — М.: Недра, 1979. — 207 с.

#### АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

В данной статье сделан анализ опубликованных материалов, касающихся отказов элементов бурильных колонн. Установлено, что наибольший процент аварий приходится на резьбовые соединения и бурильные замки. На механизм их возникновения в первую очередь влияют свойства материала, коррозионность бурового раствора, профиль ствола скважины, частота вращения ротора, нагрузка на долото.

**Ключевые слова:** элементы бурильной колонны, усталость, разрушение, анализ аварийности.

*Івасів Василь Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: ivasivvm@rambler.ru.*

*Гриджук Ярослав Степанович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: jaroslav.gridzhuk@gmail.com.*

*Юрич Лідія Романівна, аспірант, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: lidusiau@ukr.net.*

*Івасів Василь Михайлович, доктор технических наук, профессор, кафедра нефтегазового оборудования, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*

*Гриджук Ярослав Степанович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической механики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*

*Юрич Лидия Романовна, аспирант, кафедра нефтегазового оборудования, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*

*Ivasiv Vasil, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: ivasivvm@rambler.ru.*

*Grydzhuk Jaroslav, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: jaroslav.gridzhuk@gmail.com.*

*Yurich Lidiia, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: lidusiau@ukr.net*

УДК 621.446

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32909

Зубарев С. Г.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ УГОЛЬНОГО КОМБАЙНА ПУТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ

Статья посвящена рассмотрению способов повышения эффективности защиты от перегрузок электроприводов и исполнительных органов очистного комбайна с вынесенной системой подачи. Проведено компьютерное моделирование переходных процессов в вынесенной системе подачи и представлен процесс формирования динамических перегрузок на исполнительных органах комбайна. Обоснован способ улучшения переходных процессов в сторону снижения динамических перегрузок.

**Ключевые слова:** очистной комбайн, вынесенная система подачи, перегрузка, переходные процессы, скорость, установка.

### 1. Введение

В настоящее время на Украине все более широкое применение находят комбайны с вынесенной системой подачи (ВСП) при выемке тонких пластов, которые со-

ставляют основную часть промышленного запаса страны. Применение ВСП сокращает длину комбайна и улучшается его вписываемость в гипсометрию пласта [1]. В частности, ВСП оборудованы комбайны K103M, KA80, K85, KC75 [2].

Вынесенная система подачи комбайна зачастую оснащается электромагнитной муфтой скольжения (ЭМС) [3], которые производятся на Горловском машиностроительном заводе. ЭМС содержит две концентрично расположенные вращающиеся части — якорь и индуктор, механически не связанные между собой. На индукторе располагаются полюса с обмоткой возбуждения, которая получает питание от источника постоянного тока. Управляя током возбуждения ЭМС, можно регулировать момент и угловую скорость выходного вала привода подачи и, следовательно, скорость и усилие подачи комбайна. Муфта имеет небольшие габариты и вес, не имеет скользящих контактов, создающих искрение, что облегчает ее искробезопасное исполнение [4].

Основной функцией современного автоматического регулятора нагрузки является оптимизация режима работы очистного комбайна с обеспечением максимальной производительности и исключением опасных перегрузок электроприводов и исполнительных органов. Для автоматизации ВСП применяется аппаратура КД-А, разработанная в НПО «Автоматгор-маш» [5]. ВСП, оборудованная ЭМС, более 30 лет успешно применяется для перемещения комбайнов в лавах длиной до 200 м [6]. Тенденции последних лет по увеличению длин очистных забоев до 300–400 м привели к снижению качества переходных процессов при использовании существующих систем автоматического управления подачи комбайнов, оборудованных ВСП с электромагнитными муфтами скольжения. В частности, увеличилось время переходного процесса при управлении ЭМС вследствие значительной индуктивности (до 50 Гн) обмоток возбуждения последних, что увеличивает динамические нагрузки на привод комбайна при воздействии внешних возмущений в виде внезапного изменения сопротивления резанию горного массива.

В связи с необходимостью повышения показателей надежности функционирования ВСП с ЭМС очистного комбайна, анализ способов повышения эффективности защиты от перегрузок является актуальной задачей.

### 2. Анализ исследований и публикаций

Вопросам в области автоматизации вынесенной системы подачи посвящены работы С. В. Дубинина (проводил исследования ВСП на основе муфты скольжения) [7], Н. Г. Бойко (исследовал вопросы динамики и оптимизации параметров силовых систем очистных комбайнов, находящихся под действием случайной нагрузки) [8].

### 3. Постановка задачи

Целью данной работы является обоснование способов повышения эффективности защиты от внезапных перегрузок и улучшения динамических свойств ВСП.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Выполнить моделирование переходных процессов в ВСП.
2. Провести анализ полученных данных.
3. Обосновать способы улучшения динамических характеристик ВСП.

### 4. Результаты исследований ВСП

Схема замещения ВСП приведена на рис. 1. Схема содержит модели тянущего 1 и подтягивающего 2 электроприводов подачи с соответствующими ЭМС 3 и 4. Приводы 1 и 2 связаны между собой и комбайном 5 тяговой цепью с рабочим участком 6 и холостыми участками — нижним 7 и верхним 8. Диссипативные свойства участков тяговой цепи учтены коэффициентами потерь  $\beta_p$ ,  $\beta_n$  и  $\beta_b$ . Частота вращения тянущего привода измеряется тахогенераторным датчиком скорости 9 [9, 10]. Нагрузка на исполнительные органы очистного комбайна описывается как функция скорости подачи комбайна и величины сопротивления резанию горного массива [11].

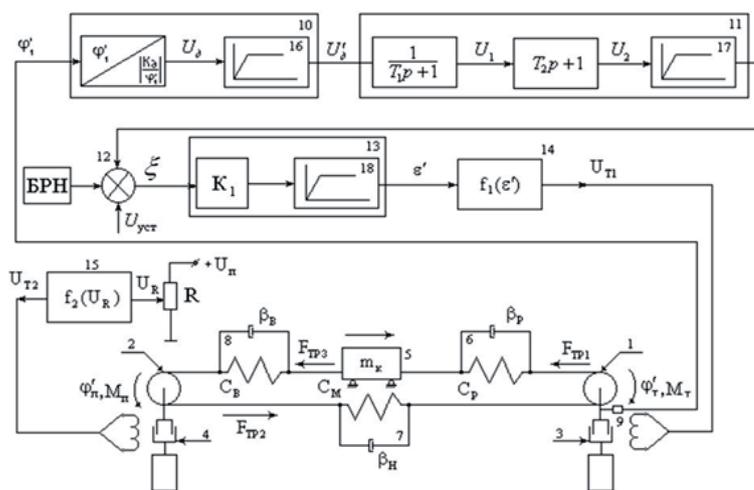


Рис. 1. Схема замещения вынесенной системы подачи очистного комбайна

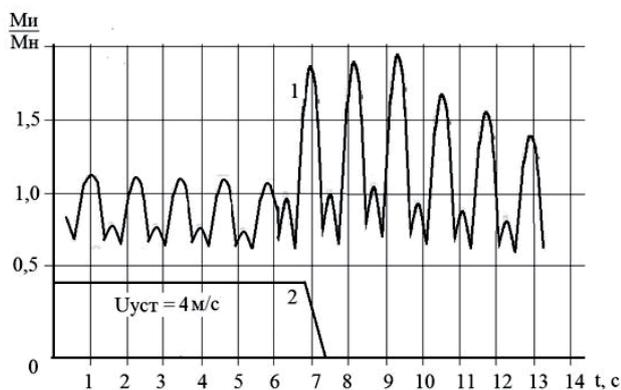
Сигнал обратной связи по скорости формируется преобразователем 10 частоты выходного сигнала тахогенератора 9 в сигнал, пропорционального скорости подачи комбайна.

Сигнал поступает на вход корректирующего звена 11, обеспечивающего коррекцию АФЧХ с требуемым запасом устойчивости системы. Скорректированный сигнал обратной связи подается на вход элемента сравнения 12, где сравнивается с сигналом уставки по скорости и сигналом, сформированным блоком регулирования нагрузки БРН. Сигнал рассогласования, поступает на усилитель сигнала управления 13, где усиливается и подается на вход тиристорного преобразователя 14. Тиристорный преобразователь подает в обмотку возбуждения электромагнитной муфты скольжения ток, обеспечивающий требуемую величину скорости подачи. Для структурного соответствия звеньев модели реальной системе управления выходные сигналы каждого звена ограничены нелинейными звеньями 16, 17, 18. Автоматическое регулирование нагрузки и защиту от перегрузок обеспечивает блок БРН путем корректирования уставки по скорости подачи комбайна.

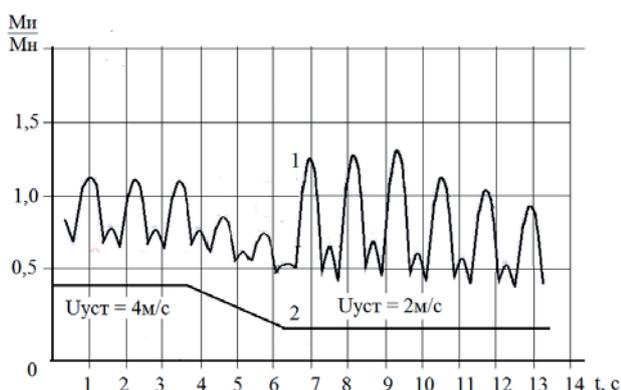
Процесс формирования динамических перегрузок на исполнительных органах комбайна представлен на рис. 2.

Особенностью формирования повышенного момента Ми на исполнительных органах комбайна с ВСП является медленное уменьшение перегрузки даже после снижения заданной скорости подачи до нуля. Причи-

ной этому является большой запас энергии упругого натяжения длинных тяговых цепей ВСП и низкое быстродействие ЭМС. В связи с тем, что изменение данных параметров ВСП практически не реализуемо, рассмотрена возможность предварительного снижения скорости подачи комбайна перед моментом существенного изменения механических свойств угольного пласта. Возможность прогноза момента возникновения перегрузки обусловлена относительно медленным изменением механических свойств угольного пласта по продвижению лавы от предыдущей стружки к последующей. Таким образом, проведя анализ механических свойств в процессе выемки угля на предыдущем цикле работы, можно осуществить прогноз реакции забоя на исполнительные органы комбайна на следующем цикле работы. При этом, предварительное снижение скорости подачи комбайна перед резким изменением механических свойств пласта, может существенно улучшить переходные процессы системы в сторону снижения динамических перегрузок. Результат моделирования представлен на рис. 3.



**Рис. 2.** Процесс формирования динамических перегрузок на исполнительных органах комбайна: 1 — момент нагрузки на исполнительные органы комбайна; 2 — уставка по скорости подачи комбайна ( $U_{уст}$ );  $M_i$  — момент нагрузки исполнительных органов комбайна;  $M_n$  — номинальный момент нагрузки



**Рис. 3.** Процесс формирования динамических перегрузок на исполнительных органах комбайна при предварительном снижении скорости подачи комбайна: 1 — момент нагрузки на исполнительные органы комбайна; 2 — уставка по скорости подачи комбайна ( $U_{уст}$ );  $M_i$  — момент нагрузки исполнительных органов комбайна;  $M_n$  — номинальный момент нагрузки

Исследованиями, проведенными при помощи компьютерного моделирования, обосновано время, необходимое для осуществления предварительного снижения скорости подачи. Установлено, что плавное снижение

скорости в течение от 2 до 5 с может снизить амплитуду динамических нагрузок в системе в 1,5–2 раза. Данные функции можно осуществить при помощи системы автоматического программного управления, которая реализует анализ механических свойств угольного пласта по длине лавы, для предварительной коррекции уставки по скорости на следующих циклах работы горной машины.

Дальнейшие исследования целесообразно посвятить обоснованию параметров системы программного управления нагрузкой комбайна с ВСП и способов анализа механических свойств угольного пласта в процессе работы горной машины.

## 5. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Получен процесс формирования динамических перегрузок на исполнительных органах комбайна.
2. Выявлены причины возникновения перегрузок, заключающиеся в большом запасе энергии упругого напряжения тяговых цепей ВСП, низком быстродействии ЭМС. В связи с невозможностью изменения данных параметров ВСП, рассмотрена возможность предварительного снижения скорости подачи комбайна перед существенным изменением механических свойств пласта. Обоснована возможность прогноза возникновения перегрузки на исполнительных органах комбайна.
3. При помощи компьютерного моделирования обосновано время, необходимое для предварительного снижения скорости подачи. Анализ механических свойств пласта и коррекцию уставки по скорости подачи комбайна предлагается осуществить при помощи системы автоматического программного управления.
4. Предложены направления для дальнейших исследований.

## Литература

1. Горбатов, П. А. Горные машины для подземной добычи угля [Текст]: уч. пос. для вузов / П. А. Горбатов, Г. В. Петрушкин, М. М. Лисенко и др.; под общ. ред. П. А. Горбатова. — 2-е изд. перераб. и доп. — Донецк: Норд Компьютер, 2006. — 669 с.
2. Клорикьян, С. Х. Машины и оборудование для шахт и рудников [Текст]: справочник / С. Х. Клорикьян, В. В. Старичнев, М. А. Серебряный и др. — 6-е изд., стереотип. — М.: МГТУ, 2000. — 471 с.
3. Серов, Л. А. Устройства управления и системы регулирования угледобывающих машин [Текст]: монография / Л. А. Серов. — М.: Недра, 1995. — 167 с.
4. Щетинин, Т. А. Электромагнитные муфты скольжения [Текст] / Т. А. Щетинин. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 272 с.
5. Антипов, В. А. Электрослесарю добычного и проходческого оборудования [Текст]: справочник / под. общ. ред. В. А. Антипова; сост. Л. С. Гуревич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Донецк: Донбасс, 1989. — 159 с.
6. Дубинин, С. В. Система автоматической стабилизации скорости вынесенного привода подачи с электромагнитным тормозом скольжения для горных машин [Текст] / С. В. Дубинин, В. В. Поцепаев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — Вип. 22(200). — С. 6–10.
7. Дубинин, С. В. Снижение динамических нагрузок и повышение эффективности вынесенной системы подачи очистного комбайна [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук. / С. В. Дубинин. — Донецк, 1991. — 209 с.

8. Бойко, Н. Г. Оптимизация параметров силовых систем очистных комбайнов [Текст]: монография / Н. Г. Бойко. — Донецк: ГВУЗ ДонНТУ, 2012. — 214 с.
9. Серов, Л. А. Устройства управления и системы регулирования угледобывающих машин [Текст] / Л. А. Серов. — М.: Недра, 1995. — 167 с.
10. Санченко, А. П. Исследование автоматизированной двух-приводной вынесенной системы подачи очистного комбайна и определение ее оптимальных параметров [Электронный ресурс]: сб. науч. ст. VII Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 26–28 апреля 2007 г. / А. П. Санченко, С. В. Дубинин // Автоматизация технологических объектов и процессов. — Донецк: ДонНТУ, 2007. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/fema/sanchenko/library/lib02.htm>
11. Бойко, Н. Г. Динамика привода исполнительного органа очистных комбайнов и его характеристики при случайном возмущении [Текст] / Н. Г. Бойко // Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Гірничо-електромеханічна. — 2009. — Вып. 17(157). — С. 3–79.

#### УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ВУГІЛЬНОГО КОМБАЙНА ШЛЯХОМ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Стаття присвячена розгляду способів підвищення ефективності захисту від перевантажень електроприводів і виконавчих органів очисного комбайна з винесеною системою подачі. Проведено комп'ютерне моделювання перехідних процесів в винесеній системі подачі і представлено процес формування динамічних перевантажень на виконавчих органах комбайна. Обґрунтовано спосіб поліпшення перехідних процесів в сторону зниження динамічних перевантажень.

**Ключові слова:** очисний комбайн, винесена система подачі, перевантаження, перехідні процеси, швидкість, уставка.

---

*Зубарев Сергей Геннадьевич, кафедра горной электротехники и автоматики, ГосВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Красноармейск, Украина, e-mail: [zuberman@bigmir.net](mailto:zuberman@bigmir.net).*

---

*Зубарев Сергій Геннадійович, кафедра гірничої електротехніки та автоматики, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Красноармійськ, Україна.*

---

*Zubarev Serhii, Donetsk National Technical University, Krasno-armiysk, Ukraine, e-mail: [zuberman@bigmir.net](mailto:zuberman@bigmir.net)*