

**МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ КОНЦЕПЦИИ МОБИЛЬНОЕ МЕСТО ОПЕРАТОРА**

**С.С. Журавлев, С.Р. Шакиров (Новосибирск),  
Ю.В. Малахов, М.С. Никитенко (Кемерово)**

Проектирование, создание и внедрение новых автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) – многоэтапный процесс. На каждом этапе может быть допущена та или иная ошибка. Применение модельно-ориентированного проектирования (англ.: model based design approach) позволяет повысить вероятность обнаружения ошибок при реализации алгоритмов управления и способствует созданию надежных АСУ ТП [1,2].

Реализация модельно-ориентированного проектирования заключается в создании комплекса программных и/или технических средств отладки и тестирования. Для применения данного метода эффективным решением является создание отладочного комплекса, позволяющего выполнять тестирование создаваемых программно-технических средств на модели технологического процесса.

В исследуемой области известны работы российских и зарубежных ученых: моделирование канала связи командно-измерительной системы космического аппарата [3]; модельно-ориентированное проектирование системы автоматического управления температурой с циркуляцией промежуточного теплоносителя [4]; прототипирование систем управления как части модельно-ориентированной разработки теплового насоса сушилки [5]; управление встроенной моделью в полунатурном моделировании для промышленных беспроводных сетей предприятий с применением WirelessHART стандарта [6] и др.

При создании отладочного комплекса с применением метода модельно-ориентированного проектирования возникла необходимость разработки модели технологического процесса.

Технологический объект управления

Технологический процесс добычи угля методом разработки мощных крутонаклонных угольных пластов предложен учеными ФИЦ УУХ СО РАН [7,8]. Предложенное решение этой задачи заключается в применении технологии отработки подэтажными штреками и обеспечивающего её технологического оборудования, типа «крепь-штрек», перемещаемого по мере подсечки подэтажной толщи, по подэтажному штреку по простиранию пласта.

Одним из вариантов крепления выработки типа «крепь-штрек» для создания эффективного отечественного очистного комплекса и отработки крутых пластов подэтажами с выпуском является шагающая крепь [9].

Технологический процесс с применением технологии отработки подэтажными штреками может быть реализован с использованием технологического оборудования: модуль шагающая крепь, забойный конвейер, дробилка, скребковый перегружатель и скребковый конвейер. Ключевым элементом этого технологического процесса является шагающая крепь.

На рисунке 1 показан вид шагающей крепи. Крепь состоит из двух секций, взаимосвязанных друг с другом. Секции имеют опоры в виде стоек. Совокупность гидроцилиндров (домкратов) обеспечивает регулирование положения крепи в пространстве и ее конструктивную конфигурацию для учета текущего состояния технологического процесса и параметров внешней среды.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

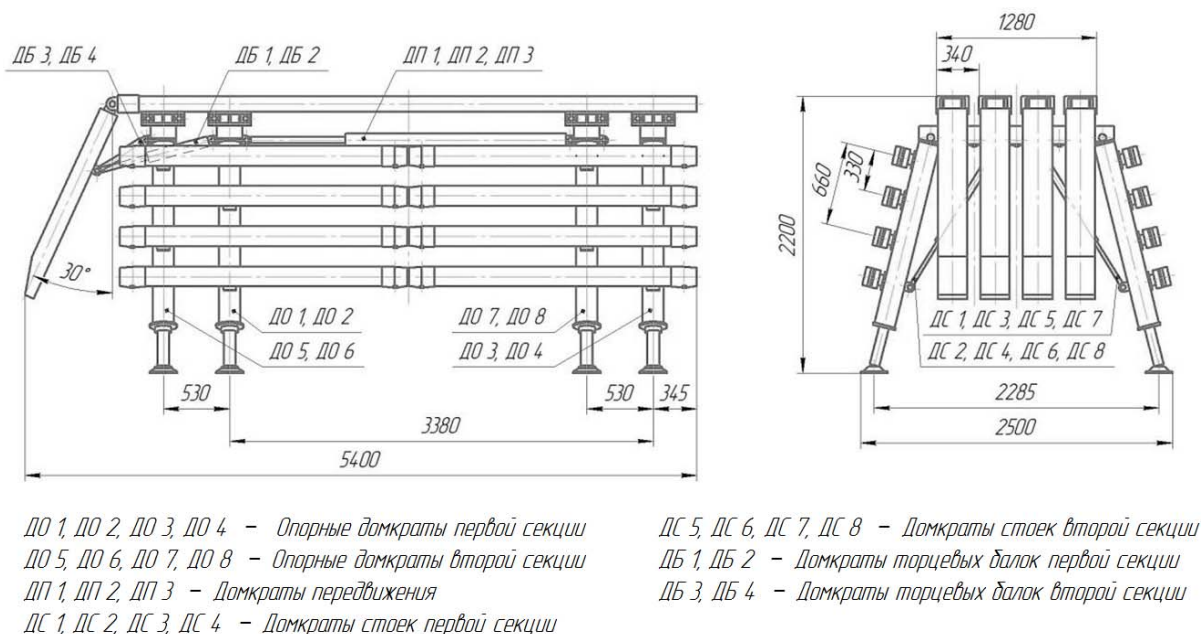


Рис. 1 – Общий вид шагающей крепи

Для реализации функций контроля и управления предложен следующий перечень датчиков: уровня давления в гидроцилиндрах (kozyрьков, распора по высоте, распора по ширине, передвижки секций), угла наклона козырьков, положения линейные (опор по высоте и ширине, передвижки секций), контроля горизонта. Дополнительно, для контроля параметров внешней обстановки при обрушении кровли, необходимо применять датчики: золотер (обеспечение полноты выпуска), ультразвуковой (фиксация куполообразного зависания кровли). Остальные датчики являются вспомогательными или относятся к средствам обеспечения безопасности: газоанализаторы, датчики пылевоздушной смеси, содержания метана, позиционирования, метки, видеокамера шахтная и другие.

Конструкция шагающей крепи позволяет автоматизировать процесс управления для реализации безлюдной добычи полезных ископаемых и реализации концепции мобильного места оператора с применением оборудования на основе нейрокompьютерного интерфейса (НКИ) [10]. Взаимодействие с человеком осуществляется с помощью человеко-машинного интерфейса, который представляет собой интерактивный образ шагающей крепи на мониторе для вывода эксплуатационных параметров и формирования визуальных стимулов восприятия.

Настоящая работа направлена на решение задачи разработки, прототипирования и тестирования математического, информационного, программного и технического обеспечений АСУ ТП шагающей крепи в технологии отработки угольных пластов подэтажными штреками.

#### Имитационная модель

Имитационная модель представляет собой совокупность моделей технологического оборудования, алгоритмов управления АСУ ТП и анимированной визуальной трехмерной демонстрации шагающей крепи [11].

В статье [12] предложена структура модели технологического оборудования, содержащая в своем составе элементы: набор моделей составных частей технологического оборудования, математическое описание взаимосвязи между переменными и параметрами моделируемого объекта, параметры и переменные моделируемого объекта, алгоритмы функционирования технологического оборудования и алгоритмы управления, таблицы сигналов и команд управления, модели датчиков, интерфейсы взаимодействия с пользователем и внешними техническими системами, модуль сбора статистики о функционировании модели. Данная структура позволяет реализовать генерацию сигналов датчиков, управляющих воздействий и команд управления

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

исследуемой системы. Предложенная структура адаптирована для создания моделей технологического оборудования, имитирующих технологию отработки поэтажными штреками [11].

Алгоритм управления АСУ ТП в имитационной модели задан в виде конечного автомата, имитирующего функционирование прикладного программного обеспечения.

Имитационная модель позволяет: воспроизводить процесс функционирования технологического оборудования с точки зрения сигналов датчиков, управляющих воздействий и команд управления; реализовывать функции управления АСУ ТП; представлять графическую интерпретацию данных о состоянии датчиков шагающей крепи.

Структура отладочного комплекса

В опубликованных ранее работах была выполнена постановка исследовательской задачи [13,14]. Для решения исследовательской задачи предложена усовершенствованная структура комплекса (рисунок 2). Она отличается наличием программных модулей для ручного и сценарного управления, измененной конфигурацией имитационной модели технологического процесса и интеграцией комплекса со средством дополненной реальности.

Функционирование имитационного комплекса задается посредством выбора режима управления: сценарий, автоматизированное управление, ручное.

В режиме сценария – модель технологического процесса функционирует по заданному алгоритму без участия пользователя. В режиме ручное управление – команды управления гидроприводами крепи поступают от пользователя. В режиме автоматизированное управление – пользователь подает диспетчерские команды. Модель может получать управляющие воздействия от алгоритма управления АСУ ТП интегрированного в модель или от внешней АСУ ТП.

Результат функционирования имитационной модели технологического процесса – состояние сигналов датчиков технологического оборудования. В структуру отладочного стенда входят дополнительные программные модули, обеспечивающие преобразование сформированных моделью данных в данные для системы визуализации. В качестве НКИ выбрано оборудование Emotiv Epos+ [15].

Имитационная модель реализована в среде моделирования MATLAB [16,17] и использованием пакетов ее расширения: Simulink в базовой конфигурации, Simulink Stateflow, Simulink Animation 3D, и OPC Toolbox. Для взаимодействия с внешним программным и аппаратным обеспечением комплекса используется технология OPC (аббр. от англ. Open Platform Communications) [18].

Трехмерная модель шагающей крепи создана с применением системы автоматизированного проектирования КОМПАС [19].

**Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

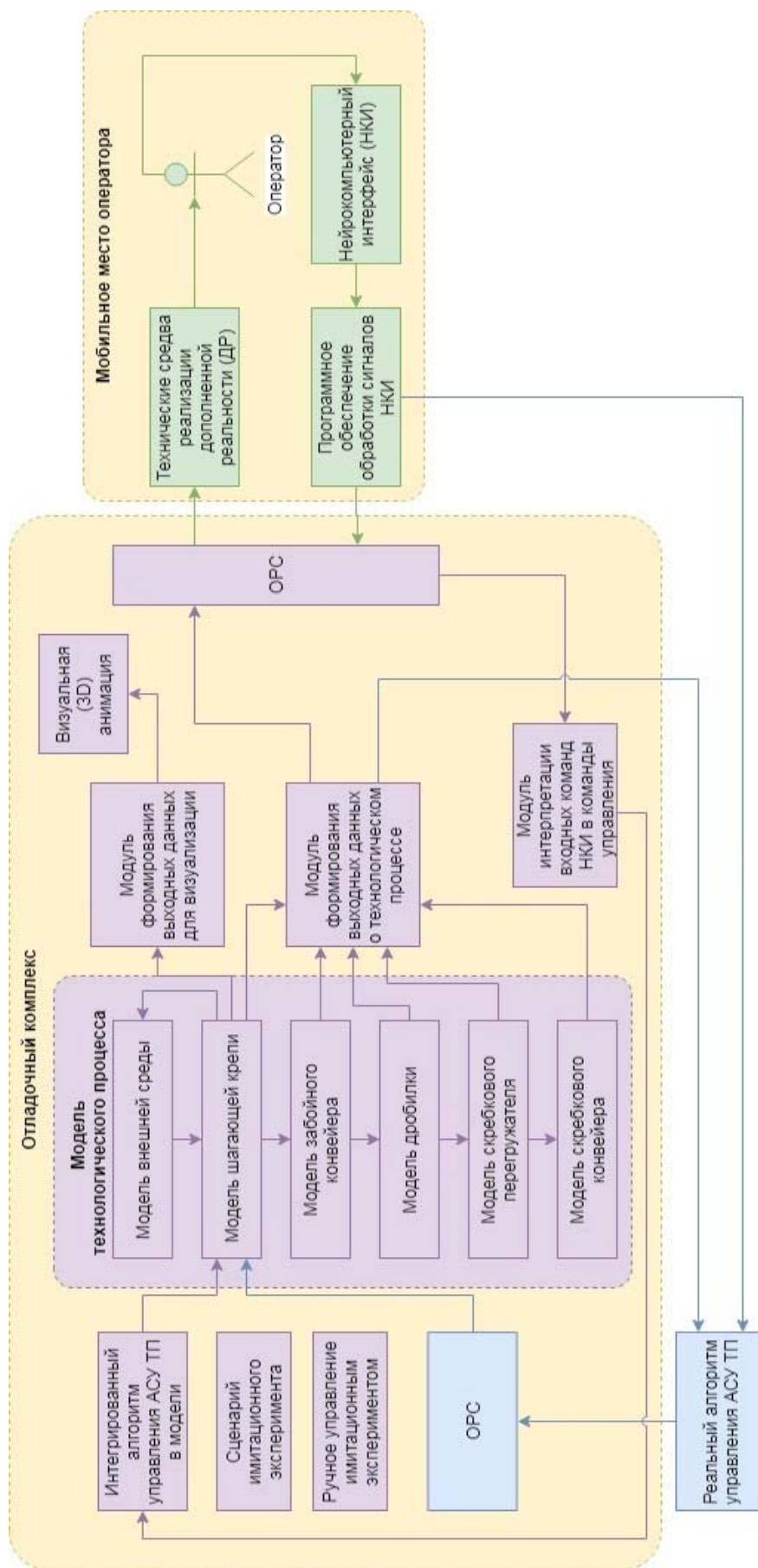


Рисунок 2 – Структура отладочного комплекса

Заключение

Реализованная имитационная модель шагающей крепи позволяет осуществлять генерацию сигналов датчиков, управляющих воздействий и команд управления АСУ ТП процесса добычи угля по технологии отработки подэтажными штреками. Это позволяет выполнять трехмерную визуализацию процесса функционирования шагающей крепи для использования в качестве замены реального, еще не существующего образца технологического оборудования.

Предложенная структура позволит реализовать комплекс программно-технических средств для целей разработки, отладки и тестирования мобильного места оператора на основе нейрокомпьютерного интерфейса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00356

Литература

1. Деменков Н.П. Модельно-ориентированное проектирование систем управления // Промышленные АСУ и контроллеры, 2008. № 11. – С.66-69.
2. Erkkinen T., Conrad M. Verification, Validation, and Test with Model-Based Design. 2008. URL: [https://www.mathworks.com/tagteam/53246\\_COMVEC%2008%20-%20VVnT%20with%20MBD.pdf](https://www.mathworks.com/tagteam/53246_COMVEC%2008%20-%20VVnT%20with%20MBD.pdf) (Дата обращения: 17.03.18). DOI: 10.4271/2008-01-2709.
3. Арыков С.Б., Судьбин А.А., Шатров В.А., Рябушкин С.А., Вильданов А.И. Моделирование канала связи командно-измерительной системы космического аппарата // Решетневские чтения, 2015. Т. 2, № 19. – С.: 203-205.
4. Щербина Ю.В. Модельно-ориентированное проектирование системы автоматического управления температурой с циркуляцией промежуточного теплоносителя // Cloudofscience, 2015. Т. 2, № 4. – С.: 562-576.
5. Holtkötter J., Michael J., Henke C., Trächtler A., Bockholt M., Möhlenkamp A., Katter M. Rapid-Control-Prototyping as part of Model-Based Development of Heat Pump Dryers // Procedia Manufacturing. 4th International Conference on System-Integrated Intelligence: Intelligent, Flexible and Connected Systems in Products and Production, 2018. Vol. 24. – Pp.: 235-242.
6. Chung Duc Tran, Rosdiazli Ibrahim, Vijanth Sagayan Asirvadam, Nordin Saad, Hassan Sabo Miya. Internal model control for industrial wireless plant using WirelessHART hardware-in-the-loop simulator // ISA Transactions, 2018. Vol. 75. – Pp.: 236-246.
7. Разработка и научное обоснование технологии подэтажной выемки угля и параметров выпускного механизированного комплекса «крепь-штрек» / Л.П. Томашевский, В.П. Левочкин, П.А. Боровиков, Ю.С. Блинов, Г.С. Кузин, О.Ф. Калугин / Совершенствование технологии разработки крутых пластов Кузбасса : Сб. научн. тр. №25. – Прокопьевск: КузНИУИ, 1974 г. – С. 55–67.
8. Клишин В.И. Механизированная отработка мощных крутых пластов под этажами с управляемым выпуском угля / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрुक, С.В. Клишин // Уголь. 2014. № 11 (1064). – С. 8–11.
9. Пат. РФ RU160742U1, МПК E 21D/00 (2006/01). Крепь для отработки мощных крутых пластов угля подэтажной выемкой / В. И. Клишин, Д. И. Кокоулин. Опубл. 20.03.2016, бюл. № 8.
10. Nikitenko M S, Zhuravlev S S, Rudometov S V, Neogi B and Belyi A M. Walking support control system algorithms testing with brain-computer interface (BCI) and augmented reality (AR) technology integration. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 206 (2018) 012043 doi :10.1088/1755-1315/206/1/012043.
11. Разработка имитационной модели шагающей крепи с интеграцией алгоритмов управления для визуализации технологических процессов / Никитенко М.С., Журавлев С.С., Малахов Ю.В., Абабков Н.В. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2019, № 1. - С.49-58. DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-49-58.

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

12. Журавлев С.С., Рудометов С.В., Окольников В.В., Шакиров С.Р. Применение модельно-ориентированного проектирования к созданию АСУ ТП опасных промышленных объектов // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 4. С. 56–67.
13. Никитенко М.С., Журавлев С.С., Рудометов С.В., Ph.D. NeogiB., Белый А.М. Тестирование алгоритмов системы управления шагающей крепи при интеграции технологии нейрокомпьютерного интерфейса (BCI) и дополненной реальности (AR). Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2018 г. – №4, С. 383-388.
14. Журавлев С.С., Никитенко М.С., Малахов Ю.В., Шакиров С.Р. Моделирование комплекса «Технологическое оборудование и система управления» шагающей крепи для решения задачи отладки и тестирования алгоритмов управления // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2019. - № 5. - С. 250-252.
15. Neurotech for the Global Community. URL: <https://www.emotiv.com> (Дата доступа 11.09.2019).
16. Mathworks MATLAB. URL: <https://www.mathworks.com> (Дата доступа 10.04.2019).
17. Продукты и сервисы MathworksMATLAB. URL: <https://matlab.ru/products/> (Дата доступа 10.04.2019).
18. Швецов Д. Новые технологии работы с данными OPC // СТА. 2007. № 1. — С. 66–69.
19. САПР КОМПАС. URL: <https://kompas.ru> (Дата доступа 10.04.2019).