

О.Е. Шабаев /д.т.н./

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

А.Ю. Довгань

ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» (Донецк)

СПОСОБ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В ВЫРАБОТКЕ

Предложен способ определения положения проходческого комбайна в системе координат выработки. По разработанному алгоритму на основе математического моделирования теоретически подтверждена возможность удержания проходческого комбайна в коридоре ± 50 мм при условии обеспечения необходимой точности и количества измерений.

Ключевые слова: проходческий комбайн, позиционирование, способ, алгоритм, математическая модель, дальномер, коридор.

Постановка проблемы

Увеличение нагрузки на добычные забои, продиктованное экономической целесообразностью, требует своевременной подготовки новых лав и прохождения магистральных выработок. Повышение темпов прохождения подготовительных выработок проходческими комбайнами, в свою очередь, требует обеспечения максимальной производительности при наименьших удельных энергозатратах и временных потерях. При этом управление машиной осуществляется в дистанционном режиме в пределах видимости в условиях повышенной вибрации, запыленности и влажности.

Как показали предыдущие исследования [1], смещение комбайна относительно продольной оси выработки приводит к снижению эффективности его работы. Так, смещение проходческого комбайна обуславливает снижение теоретической производительности до 43,7 %, повышение удельных энергозатрат на разрушение и времени цикла обработки забоя – соответственно до 64,1 % и 56,6 %, а также снижение ресурса элементов трансмиссии исполнительного органа для подшипников до 43 %, валов и зубчатых колес до 64 %. При этом было отмечено, что допустимое смещение проходческого комбайна относительно продольной оси выработки, не влияющее на его эффективность, находится в пределах ± 50 мм.

Таким образом, актуальным становится вопрос определения способа позиционирования проходческого комбайна в системе координат выработки с сохранением выбранного направления и удержанием машины в пределах установленного коридора для обеспечения требуемой производительности, равномерности нагрузки на привод резания и сохранения ресурса силовых систем.

Анализ последних исследований и публикаций

Изучением вопроса позиционирования проходческого комбайна в выработке отечественные проектно-конструкторские институты занимаются с конца 1970-х годов [2, 3]. На ранних этапах основное направление исследований касалось обеспечения безопасности оператора, выведения его на безопасное расстояние от машины, и на программную обработку забоя по образцовому циклу. При этом используется мехатронный подход к проектированию проходческого комбайна с интеллектуальной обучающейся системой управления, способной запоминать циклы и условия разрушения горного массива. Причем передвижка и точность позиционирования машины в забое остается на ответственности оператора.

В современных исследованиях [4...8] упор делается на позиционировании машины с определением траектории ее движения в толще породы и установлением направления движения. В работе [4] предлагается мультисенсорная система позиционирования проходческого комбайна с использованием гироскопа, инерциальных датчиков, электронного тахеометра, контрольной метки-мишени и датчиков раздвижности гидродомкратов. При этом привязка ведется к магнитному полюсу земли, а не к реальной выработке. На основе технологии *Time-Difference-of-Arrival (TDOA)*, используемой в [5], предлагаются три алгоритма позиционирования: *Indirect positioning algorithm (IPA-D)* (алгоритм косвенного позиционирования), *Taylor series expansion algorithm (Taylor-D)* (разложение в ряд Тейлора), и *Chan positioning algorithm (Chan-D)* (алгоритм позиционирования Чана). При первом алгоритме достигается лучший результат и на дистанции 95 м достигается сантиметровая точность, после

чего идет нарастание ошибки. В [6] предлагается использование лазеров и меток для позиционирования щитовых комбайнов. В [7,8] предлагаются системы лазеров в выработке, лазерных камер и маркеров с алгоритмом для определения смещения. Этот метод измерения показывает ошибку смещения до 10 мм с использованием высокоточных лазеров.

Рассмотренные методы имеют ряд недостатков, как то: избыточное количество датчиков, отвязка от реальной выработки и привязка к магнитным полюсам, использование маркеров, размещение стационарных лазерных излучателей в выработке. В то же время, использование лазеров с фильтрующими элементами позволяет работать подобным системам в условиях повышенной запыленности.

Цель (задачи) исследования

Целью работы является разработка способа определения положения проходческого комбайна в системе координат выработки и минимизации отклонения от средней линии выработки для обеспечения эффективности его функционирования.

Основной материал исследования

Согласно поставленной цели был предложен способ определения положения проходческого

комбайна в системе координат выработки. На рис. 1 представлен способ определения местоположения проходческого комбайна относительно продольной оси выработки путем поочередного измерения расстояния до арок крепи в плоскости параллельной почве выработки. Способ предусматривает фиксацию расстояния от места установки датчиков (дальномеров) на корпусе комбайна до фиксированного количества арок крепи m слева и справа при соответствующих углах поворота чувствительного элемента ($l_{лд}$, β_l), ($l_{лд}$, β_p). Измерение производится до и после передвижки проходческого комбайна. Измеренные значения записываются в память контроллера системы позиционирования, по полученным данным вычисляется смещение проходческого комбайна относительно оси выработки и выдается значение корректирующего смещения. При передвижке комбайна на величину ΔX_k , соответствующую глубине зарубки коронки (кратной шагу установки арочной крепи), оператор устанавливает проходческий комбайн относительно продольной оси выработки со смещением ΔL в допустимом коридоре ± 50 мм с учетом рекомендованного корректирующего смещения. После передвижки машины повторно измеряются расстояния до предыдущих арок ($m-1$), а также производится измерение до следующей арки. После каждого цикла обработки забоя операция повторяется.

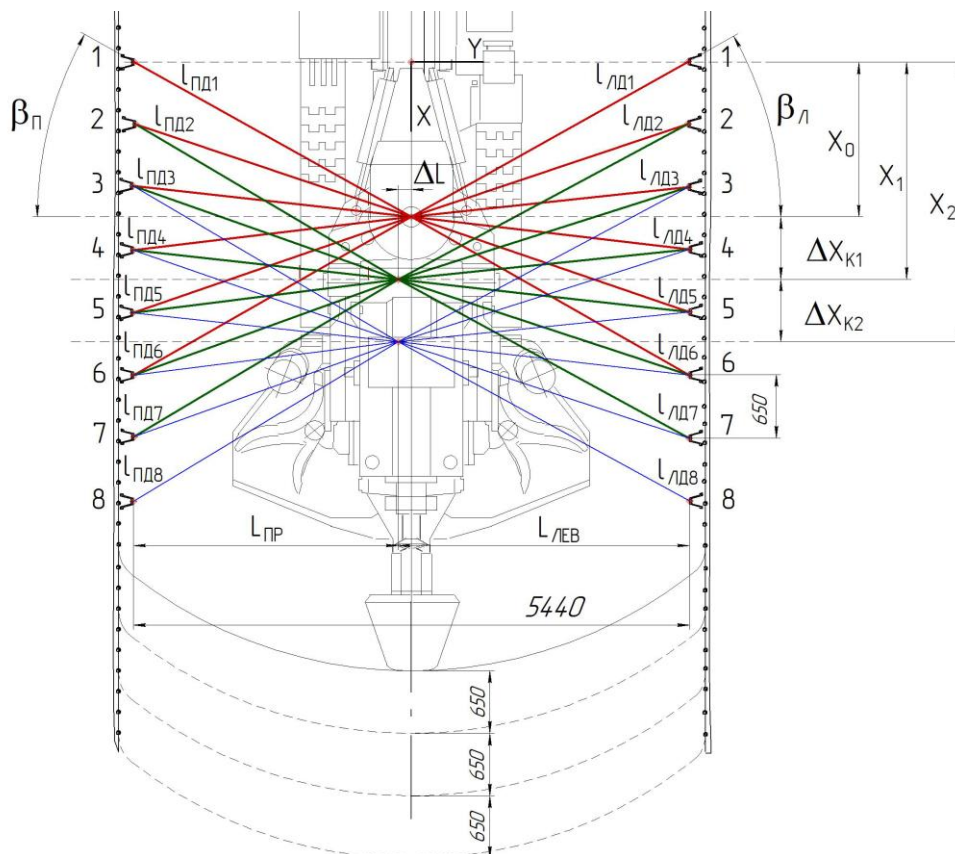


Рис. 1. Способ определения местоположения проходческого комбайна

Для реализации предложенного способа определения местоположения проходческого комбайна в системе координат выработки разработан алгоритм, представленный на рис. 2.

Алгоритм, представленный на рис. 2, предполагает поэтапную обработку данных, полученных от левого и правого датчиков, определение координат комбайна и арок крепи, определение смещения проходческого комбайна относительно продольной оси выработки и выдачу корректирующего смещения комбайна для удержания машины в пределах допустимого коридора.

На первом этапе алгоритма введенные данные после предварительной обработки формируются в массивы данных $L_{лев}$ и $L_{пр}$ расстояния по нормали для левых и правых стоек арочной крепи:

$$L_{ЛЕВ} = \begin{matrix} L_{ЛЕВ1} & L_{ЛЕВ2} & & L_{ЛЕВn-6} & L_{ЛЕВn-5} \\ L_{ЛЕВ2} & L_{ЛЕВ3} & & L_{ЛЕВn-5} & L_{ЛЕВn-4} \\ L_{ЛЕВ3} & L_{ЛЕВ4} & & L_{ЛЕВn-4} & L_{ЛЕВn-3} \\ L_{ЛЕВ4} & L_{ЛЕВ5} & \dots & L_{ЛЕВn-3} & L_{ЛЕВn-2} \\ L_{ЛЕВ5} & L_{ЛЕВ6} & & L_{ЛЕВn-2} & L_{ЛЕВn-1} \\ L_{ЛЕВ6} & L_{ЛЕВ7} & & L_{ЛЕВn-1} & L_{ЛЕВn} \end{matrix} \quad (1)$$

$$L_{ПР} = \begin{matrix} L_{ПР1} & L_{ПР2} & & L_{ПРn-6} & L_{ПРn-5} \\ L_{ПР2} & L_{ПР3} & & L_{ПРn-5} & L_{ПРn-4} \\ L_{ПР3} & L_{ПР4} & & L_{ПРn-4} & L_{ПРn-3} \\ L_{ПР4} & L_{ПР5} & \dots & L_{ПРn-3} & L_{ПРn-2} \\ L_{ПР5} & L_{ПР6} & & L_{ПРn-2} & L_{ПРn-1} \\ L_{ПР6} & L_{ПР7} & & L_{ПРn-1} & L_{ПРn} \end{matrix},$$

где n – количество арок крепи, пройденных комбайном от начального положения.



Рис. 2. Алгоритм реализации способа определения местоположения проходческого комбайна по данным датчиков

В соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 2, для определения смещения проходческого комбайна после передвижки в процессе прохождения выработки разработана математическая модель, зависимости (2)...(7), учитывающая погрешность измерений, неточность в установке арок крепи относительно средней линии выработки в поперечной плоскости и несопадение шага установки арок крепи в продольной плоскости.

Разработанная математическая модель предполагает последовательное вычисление значений сдвига проходческого комбайна относительно продольной оси выработки и определение корректирующего воздействия на величину смещения.

На втором этапе алгоритма определяется смещение относительно предыдущего положения.

Для определения матрицы значений сдвигов $\Delta L_{ЛД}$, $\Delta L_{ПД}$ комбайна по измеренным данным дальномеров предложена схема, представленная на рис. 3. На рис. 3 представлена схема для определения матрицы сдвигов проходческого комбайна для левого дальномера, для правого – схема аналогична. Схема предусматривает попарное вычитание значений предыдущего измерения из последующего для арок с одинаковым номером.

В соответствии со схемой рис. 2 элементы матрицы сдвигов определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta L_{ЛД_{i,j}} &= L_{ЛЕВ_{i,j}} - L_{ЛЕВ_{i+1,j-1}} \quad i = 1 \dots m-1, j = 2 \dots n, \\ \Delta L_{ПД_{i,j}} &= L_{ПР_{i,j}} - L_{ПР_{i+1,j-1}} \end{aligned} \quad (2)$$

где m – количество строк в матрице данных (равно количеству измерений за проход).

Размерность полученных матриц $\Delta L_{ЛД}$, $\Delta L_{ПД}$ – $(m-1, n)$.

На третьем этапе алгоритма для уменьшения влияния погрешности измерения расстояния на вычисления смещение комбайна относительно предыдущего положения определяется как

$$\Delta L_{Л_j} = \frac{\sum_{i=0}^k \Delta L_{ЛД_{k,j}}}{k}, \quad \Delta L_{П_j} = \frac{\sum_{i=0}^k \Delta L_{ПД_{k,j}}}{k}, \quad (3)$$

где $k = 1 \dots m-1$.

При этом формируются новые одномерные массивы сдвигов комбайна относительно предыдущего положения, вычисленные по показаниям левого и правого дальномеров, с добавлением нового элемента после каждой передвижки.

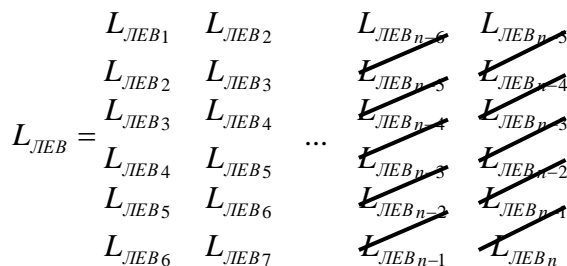


Рис. 3. Схема определения матрицы сдвигов проходческого комбайна

На четвертом этапе алгоритма определяются координаты комбайна и стоек крепи в системе координат выработки.

Смещение проходческого комбайна по показаниям левого и правого дальномеров $\Delta L_{ЛК}$, $\Delta L_{ПК}$ определяется как сумма значений сдвигов относительно предыдущего положения $\Delta L_{Л}$, $\Delta L_{П}$.

$$\Delta L_{ЛК} = \sum_{i=0}^n \Delta L_{Л_i}, \quad \Delta L_{ПК} = \sum_{i=0}^n \Delta L_{П_i}, \quad (4)$$

где n – текущее количество передвижек с начала прохождения выработки.

Таким образом, формируются одномерные массивы смещений комбайна относительно средней линии выработки, определенные по показаниям левого и правого датчиков с добавлением новых значений после каждой передвижки.

Координата комбайна в системе координат выработки определяется как среднее арифметическое между текущим значением смещения (Y) левому и правому датчикам:

$$Y_{K_i} = \frac{\Delta L_{ЛК_i} + \Delta L_{ПК_i}}{2}. \quad (5)$$

Для определения координат арок крепи корректируются значения в столбцах полученных измерений матрицы $L_{ЛЕВ}$, $L_{ПР}$ на координату комбайна:

$$Y_{Л_{i,j}} = L_{ЛЕВ_{i,j}} - Y_{K_j}, \quad Y_{П_{i,j}} = L_{ПР_{i,j}} - Y_{K_j}. \quad (6)$$

При этом формируются матрицы координат левых и правых стоек арочной крепи такой размерностью, причем данные измерений в столбцах повторяются.

Для определения координат левых и правых стоек крепи с учетом погрешности измерений предложен метод вычисления координат. На рис. 4 приведена схема определения координат для левых стоек крепи, для правых стоек метод аналогичен:

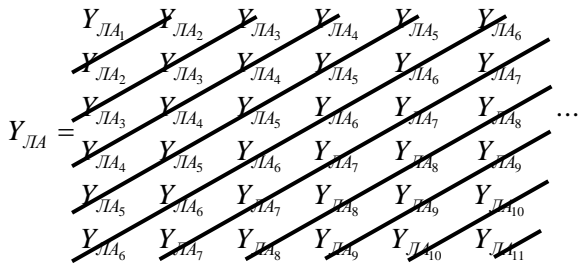


Рис. 4. Схема вычисления координат стоек крепи

В соответствии со схемой на рис. 4 координаты, находящиеся на диагоналях, усредняются. При этом двумерный массив значений координат левых и правых арок преобразуется в одномерный, в котором номер значения соответствует номеру арки с начала измерения. Координаты \$Y_{П}\$ записываются с отрицательным знаком:

$$Y_{Л} = \begin{cases} Y_{ЛA_{1,1}} & \text{для } i = 1 \\ \frac{\sum_{k=1}^i Y_{ЛA_{k,i-k+1}}}{i} & \text{для } i \in 2 \div 5 \\ \frac{\sum_{k=1}^6 Y_{ЛA_{k,i-k+1}}}{6} & \text{для } i \geq 6 \end{cases} \quad (7)$$

$$Y_{П} = \begin{cases} -Y_{ПА_{1,1}} \\ -\frac{\sum_{k=1}^i Y_{ПА_{k,i-k+1}}}{i} \\ -\frac{\sum_{k=1}^6 Y_{ПА_{k,i-k+1}}}{6} \end{cases}$$

где \$i\$ – номер столбца в двумерной матрице \$Y_{ЛA}\$.

Координата \$X\$ арок и комбайна определяется аналогично методом вычисления расстояний между арками по оси \$X\$ в каждом измерении.

Таким образом, описанный способ определения местоположения проходческого комбайна позволяет определить смещение проходческого комбайна относительно продольной оси выработки при фиксированном количестве измерений, а также определять в реальном времени координаты проходческого комбайна и арок крепи в системе координат выработки, установить четкое соответствие между ними и выработать корректирующее смещение для удержания машины в пределах коридора \$\pm 0,05\$ м относительно средней линии с целью обеспечения требуемой производительности и энергоэффективности и сохранения ресурса силовых систем [1].

Для определения влияния количества измерений и допустимой погрешности дальномеров на точность позиционирования проходческого комбайна относительно продольной оси выработки после формирования корректирующего смещения были проведены модельные исследования с использованием вышеприведенной модели.

В качестве объекта исследования был принят проходческий комбайн избирательного действия типа КСП-35 с осевой коронкой диаметром 1050 мм.

При моделировании приняты представительные условия, описанные в [9]. Ширина выработки по аркам крепи составляет 5440 мм, расстояние между арками постоянной крепи составляет 650 мм.

Входными величинами являлись значения расстояний от места установки датчиков до стоек крепи, расположенных со смещением в случайном порядке относительно оси выработки, измеренные дальномерами слева и справа от проходческого комбайна; углы поворота чувствительного элемента при каждом измерении и сгенерированные случайным способом значения погрешности измерений. На основании опыта эксплуатации проходческих комбайнов с учетом переборков и неровности стенок подготовительной выработки принят разброс в поперечной плоскости значений расстояния от арок до средней линии равный 300 мм. С учетом длины затяжки и способа жесткой фиксации арок между собой принят разброс значений шага установки арок 60 мм. Проведенный анализ представленных на рынке средств измерения расстояния (дальномеров) показывает колебание погрешности измерений в зависимости от применяемого типа чувствительного элемента, конструктивных особенностей, качества и цены изделия на уровне 0,2...2 % от диапазона измеряемой величины.

Для получения массивов значений расстояния от продольной оси до арок крепи по нормальному закону распределения вероятности сгенерированы 300 значений с величиной отстояния от средней линии \$2,72 \pm 0,15\$ м, при этом шаг установки арок крепи составляет \$0,65 \pm 0,03\$ м. Таким образом, были сгенерированы исходные данные, соответствующие длине выработки 195 м. Также по нормальному закону распределения вероятности сгенерированы значения смещения комбайна влево и вправо относительно средней линии с разбросом \$\pm 50\$ мм. Значения смещения учтены при формировании массивов данных измерения расстояния от арок до комбайна. Исходные данные для моделирования представлены на рис. 5. Также при формирова-

нии матриц измерений для каждого варианта количества измерений сгенерирована погрешность по нормальному закону распределения, соответствующая уровню 0,1 %, 0,5 %, 1 % и 2 % от диапазона измерений.

Максимальное количество измерений расстояния до арки крепи за одну передвижку – 8, что ограничивается углом поворота чувствительного элемента и дальностью измерения. Минимальное количество измерений – 4, что обусловлено погрешностью измерения расстояния дальномером и требуемой точностью позиционирования.

На рис. 5 представлены сгенерированные расстояния от продольной оси до арок крепи (отмечены крестами) и смещения комбайна от продольной оси выработки (отмечены круглыми маркерами) для первых 50 м выработки. Координата Y указывает на расстояние от стойки крепи до средней линии выработки, координата X – пройденное расстояние от начала измерения.

Выходными величинами явились значения погрешности позиционирования проходческого комбайна относительно средней линии после корректирующего воздействия.

Для реализации поставленной задачи модельных исследований был разработан план проведения вычислительного эксперимента (табл. 1).

Эксперимент реализовывался как полнофакторный, с перебором всех возможных вариантов сочетания количества измерений и погрешности измерений по табл. 1.

В качестве примера на рис. 6 представлены закономерности величины смещения проходческого комбайна относительно оси выработки после корректировки с изменяющейся погрешностью (рис. 6а) для шести измерений, а также закономерности для неизменной погрешности 0,5 % при 4, 6 и 8 измерениях (рис. 6б) от количества пройденных арок N .

Табл.1. План вычислительного эксперимента

Фактор	Уровень фактора
Количество измерений при каждой передвижке проходческого комбайна	4, 6, 8
Погрешность измерений расстояния до арок крепи, %	0,1; 0,5; 1; 2

На рис. 6а цифрами 1,2,3 и 4 обозначены кривые изменения положения проходческого комбайна в выработке при погрешности измерения расстояния от комбайна до стоек арочной крепи 0,1 %, 0,5 %, 1 % и 2 % соответственно. Как видно из рисунка, при увеличении погрешности измерения увеличивается отклонение машины относительно продольной оси выработки и расширяется коридор, в котором система позиционирования способна ее удержать. При возрастании погрешности увеличивается ее влияние на накопление ошибки корректировки положения машины в выработке. Так, погрешность в 1 % на треть сокращает длину регулируемого участка, вдоль которого возможно удержание комбайна в пределах заданного коридора, что приводит к необходимости частого сброса данных и возобновления алгоритма вычисления местоположения.

На рис. 6б цифрами 5,6 и 7 обозначены кривые изменения местоположения комбайна в выработке относительно ее оси при фиксированном значении погрешности измерения 0,5 % и изменении количества измерений за шаг передвижки, равного 4, 6 и 8 соответственно. Как видно из рис. 6б, кривые не отклоняются от продольной оси выработки более 50 мм для любого количества измерений от 4 до 8. Увеличение количества измерений до 8 (кривая 7) повышает точность позиционирования за счет усреднения большего количества значений при измерении по (3).

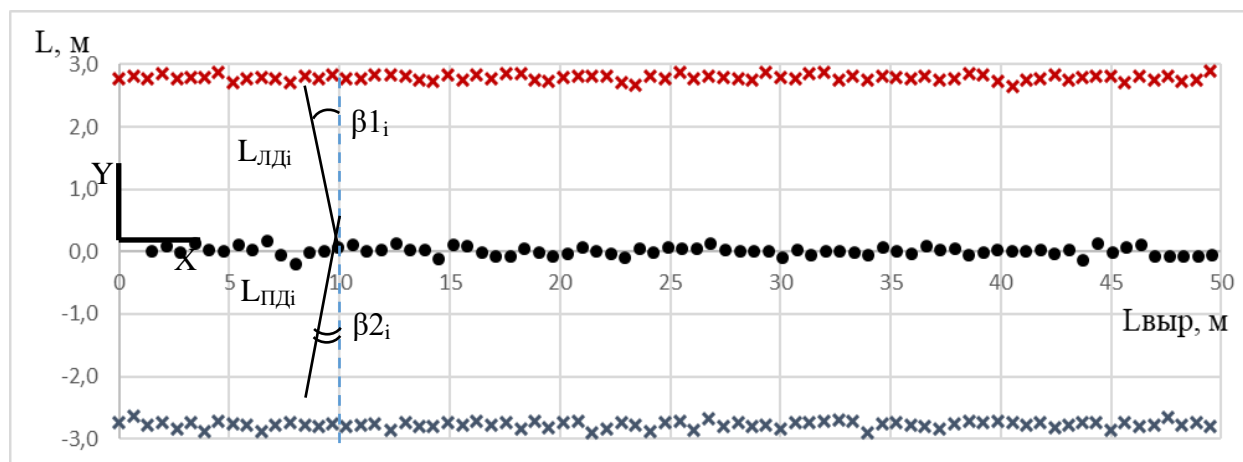


Рис. 5. Исходные данные для моделирования

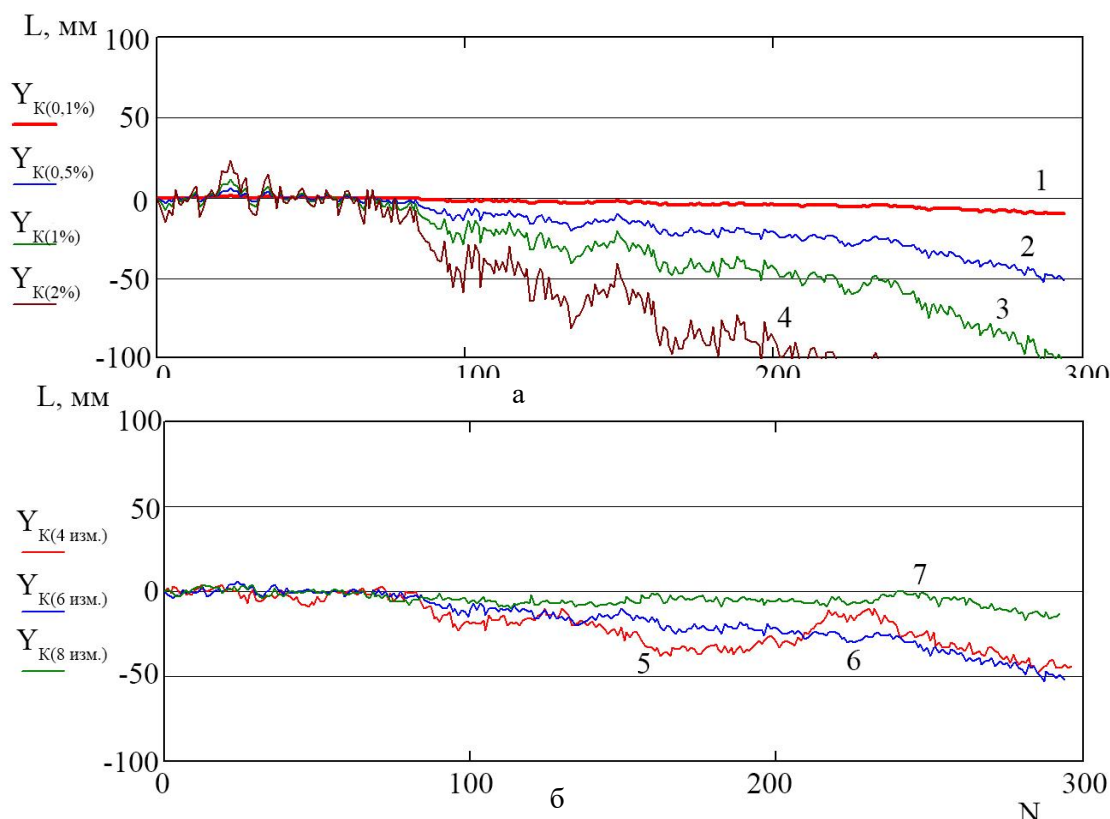


Рис. 6. Данные смещения проходческого комбайна относительно оси выработки после корректировки: а – для шести измерений; б – для погрешности 0,5 %

Данные модельного эксперимента изменяются с каждым вычислением корректирующих смещений и координат комбайна, так как при каждом запуске модели генерируется новый набор значений погрешности измерений в пределах заданного рассеяния. Для получения максимумов возможных смещений проходческого комбайна после корректировки для каждого сочетания факторов моделирование проведено по десять раз, и из полученных данных выделены максимумы отклонения проходческого комбайна от продольной оси выработки. Максимумы полученных данных для каждого сочетания факторов сведены в табл. 2 в соответствии с условиями модельного эксперимента по табл. 1.

Как видно из табл. 2, увеличение погрешности измерений и уменьшение их количества приводит к потере точности позиционирования машины в выработке.

Табл. 2. Максимальное отклонение проходческого комбайна относительно оси выработки

		Погрешность измерений			
		0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Количество измерений	4	14,2	58,3	105,2	325,7
	6	7,8	31,3	86,6	136,4
	8	5,5	25,4	54,8	106,3

Лучшие сочетания факторов модельного эксперимента, удовлетворяющие его цели, обведены рамкой.

Наименее предпочтительным является количество измерений 4, так как в алгоритме применяется усреднение показаний датчиков по (3) для минимизации влияния погрешности, и, как показывают результаты модельного эксперимента, применение такого количества измерений является оправданным только при высокой точности измерений. При этом только точность измерений 0,1 % соответствует цели модельного эксперимента.

При сочетании факторов (0,5 %, 4 изм.), (1 %, 8 изм.) происходит выход машины за пределы коридора ± 50 мм, однако это отклонение является незначительным (17 % и 10 % соответственно) и проявляется не при всех подходах моделирования (ячейки выделены серым цветом).

Погрешность измерений 2 % является неудовлетворительной. Такая точность измерения расстояния до стоек арочной крепи не позволяет адекватно управлять проходческим комбайном в выработке при любом количестве измерений и не может рассматриваться при разработке системы позиционирования.

Для погрешности измерений 1 % допустимо к применению только количество измерений 8,

так как иное количество приводит к неудовлетворительной точности позиционирования.

Увеличение количества точек измерения до 8 повышает точность позиционирования, но является избыточным, так как увеличивает время измерения расстояний и определения координат, количество хранимых данных и угол поворота чувствительного элемента датчика, ограниченный конструктивно.

Разработанный способ измерения и алгоритм обработки данных позволяет уменьшить влияние человеческого фактора при дистанционном управлении проходческим комбайном в зоне видимости. Разработанная на его основе интеллектуальная автоматизированная система позиционирования позволит оператору сохранять выбранное направление выработки, удерживать машину в заданном коридоре, что, в свою очередь, позволит повысить его производительность и энергоэффективность.

Выводы

Предложен способ определения местоположения проходческого комбайна относительно продольной оси выработки при помощи дальности с изменяемым углом поворота луча, который позволяет определить отклонение проходческого комбайна от продольной оси выработки и сформировать корректирующее смещение после передвижки в реальном времени.

Предложен алгоритм, заключающийся в определении корректирующего воздействия при передвижке комбайна для его удержания в заданном коридоре относительно продольной оси выработки, и разработана математическая модель, позволяющая реализовать предложенный способ, уменьшить влияние разброса значений и погрешности измерений на формирование корректирующего смещения комбайна.

Необходимым и достаточным условием реализации необходимой точности позиционирования в пределах заданного коридора является оснащение проходческого комбайна автоматизированной системой позиционирования, обеспечивающей точность определения расстояния до арок не менее 0,5 % при количестве измерений равно 6.

Предложенный способ измерения возможно применить при прохождении выработок разного сечения различными типами проходческих комбайнов с требуемой точностью позиционирования при сохранении точности измерения.

Список литературы

1. Шабаев, О.Е. Влияние позиционирования проходческого комбайна КСП-35 в проходческом забое на эффективность его функционирования / О.Е. Шабаев, А.Ю. Довгань // Вестник ДонНТУ. – 2020. – №3(21). – С. 35-42.
2. Злодеев, А.В. Повышение эффективности программной обработки забоя стреловыми комбайнами / А.В. Злодеев, В.В. Синенко, С.Е. Шумалинский // Автоматизация забойного оборудования: сб. научн. тр. – М.: НПО «Автоматгормаш», 1984. – Вып.9. – С. 57-60.
3. О стратегии создания интеллектуальных роботизированных систем управления горношахтным оборудованием / В.Г. Курносков [и др.] // Уголь Украины. – 2014. – №1. – С. 12-16.
4. Changqing, Y. A Multi-Sensor Based Roadheader Positioning Model and Arbitrary Tunnel Cross Section Automatic Cutting / Y. Changqing, Z. Wenxiao, L. Xinming // Sensors. – 2019. – Iss.22. Vol.19. 4955.
5. Ultra-wideband pose detection method based on TDOA positioning model for boom-type roadheader / S. Fu [et al.] // AEU Int. J. Electron. Commun. – 2019. – Vol.99. – P. 70-80.
6. Система позиционирования проходческого щита микротоннелепроходческого комплекса / А.А. Гуммель [и др.] // Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XLI Международной научно-технической конференции, Новочеркасск, 15-17 октября 2019 г. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2020. – С. 350-355.
7. Visual measurement system for roadheaders pose detection in mines / Y. Du [et al.] // Optical Engineering. – 2016. – Iss.10. Vol.55. 104107.
8. Research on position and orientation measurement method for roadheader based on vision / J. Yang [et al.] // INS. In Proceedings of the 2017 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Systems, International Society for Optics and Photonics, Beijing, China, 12 January 2018. – P. 1062105.
9. Шабаев, О.Е. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КСП-35 в представительных условиях его эксплуатации / О.Е. Шабаев, А.Ю. Довгань // Вестник ДонНТУ. – 2018. – №4. – С.34-40.

O.E. Shabaev /Dr. Sci. (Eng.)/

Donetsk National Technical University (Donetsk)

A.Yu. Dovgan

Scientific Research Institute «Automatgormash named after V.A. Antipov» (Donetsk)

THE METHOD FOR THE ROADHEADER POSITIONING IN A MINE WORKING

Background. As shown by previous studies, the displacement of the roadheader relative to the longitudinal axis of production leads to a decrease in the efficiency of its work. Thus, the displacement of the roadheader causes a decrease in the theoretical productivity to 43.7 %, an increase in the specific energy consumption for destruction and the cycle time of processing the face – respectively to 64.1% and 56.6%, as well as a decrease in the resource of the transmission elements of the working body (for bearings up to 43 %, shafts and gears up to 64 %).

Materials and/or methods. A method proposed for determining the location of a roadheader in the coordinate system of the mine by alternately measuring the distance to the support arches in the plane parallel to the soil of the mine. An algorithm and a mathematical model have been developed that involve step-by-step processing of the data received from the left and right rangefinders, determining the coordinates of the roadheader and the support arches, determining the displacement of the roadheader relative to the longitudinal axis of the mine, and issuing a corrective displacement of the combine to keep the machine within the limits of the permissible corridor. Model studies carried out to determine the influence of the number of measurements and the permissible error of rangefinders on the positioning accuracy of the roadheader relative to the longitudinal axis of the mine after the formation of the correction offset.

Results. The dependence of the roadheader displacement relative to the longitudinal axis of the workings on the number of measurements after applying the correction offset obtained. For all combinations of factors, ten calculations of the measurement error carried out and the maximum values of the deviation of the roadheader determined.

Determined and justified the best combinations of the model experiment factors, the least preferred number of measurements, and the unsatisfactory value of the measurement accuracy, which does not provide the necessary positioning accuracy. With the help of mathematical modelling, the possibility of holding a roadheader in a corridor of ± 50 mm is theoretically confirmed, when the necessary accuracy and number of measurements provided.

Conclusion. The developed method of measurement and data processing algorithm allows reducing the influence of the human factor when remotely controlling a roadheader in the field of view. The proposed measurement method can be applied when passing the workings of different cross-sections by different types of roadheaders with the required positioning accuracy while maintaining the measurement accuracy.

Keywords: roadheader, positioning, method, algorithm, mathematical model, rangefinder, corridor.

Сведения об авторах

О.Е. Шабаев

SPIN-код: 1447-2343
ORCID iD: 0000-0002-0845-7449
Телефон: +380 (95) 429-13-32
Эл. почта: oeshabaev@ya.ru

А.Ю. Довгань

SPIN-код: 5834-1547
Researcher ID: L-1788-2018
ORCID iD: 0000-0001-7154-4513
Телефон: +380 (95) 755-29-58
Эл. почта: agm_osu@mail.ru

Статья поступила 04.02.2021 г.
© О.Е. Шабаев, А.Ю. Довгань, 2021
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин