

УДК 622.647.1

В. П. КОНДРАХИН, доктор техн. наук
(ДонНТУ)

Н. И. СТАДНИК, доктор техн. наук
(ДП «Донгипроуглемаш»)



В. П. Кондрахин



Н. И. Стадник

Пусковые режимы трехприводных двухскоростных забойных конвейеров

Предложена методика и приведены результаты выбора рационального алгоритма пуска трехприводного двухскоростного забойного скребкового конвейера для заданных условий эксплуатации. Использование выбранного алгоритма обеспечивает равномерное распределение нагрузки между приводами.

Современные скребковые забойные конвейеры – это машины высокой энерговооруженности (400–700 кВт), единичная мощность приводных электродвигателей достигает 360 кВт. Прямой пуск таких электродвигателей в шахтных сетях ограниченной мощности практически невозможен. Это одна из основных причин того, что конвейеры оснащаются двухскоростными асинхронными электродвигателями. Отсутствие в составе привода двухскоростных конвейеров надежной и сложной в обслуживании гидромuffты повышает их эксплуатационные качества. Типичный пример указанных машин – разработанные институтом «Донгипроуглемаш» энерговооруженные скребковые конвейеры типа КСД [1].

Пусковые режимы многоприводных двухскоростных конвейеров предусматривают определенную последовательность включения электродвигателей головного и хвостового привода на низкую (НС) и высокую (ВС) скорости. Современные станции управления конвейерами КСД27.50, УКВ-650 – это микропроцессорные системы, позволяющие оперативно реализовать любой алгоритм пуска. В работах [2, 3] предложены математическая модель для исследования нагрузок в приводе и тяговом органе многоприводных конвейеров рассматриваемых типов, а также методика выбора рационального алгоритма запуска двухприводных конвейеров.

В настоящей статье поставлена задача анализа пусковых режимов и определения рационального алгоритма пуска трехприводного двухскоростного конвейера с учетом особенностей условий эксплуатации.

До проведения исследований в качестве базового алгоритма пуска трехприводного конвейера КСД27 вне зависимости от условий эксплуатации считался следующий:

запуск хвостового (Х) электродвигателя на НС, через $\Delta t_1 = 1,5$ с запуск обоих головных (Γ_1, Γ_2) на НС;

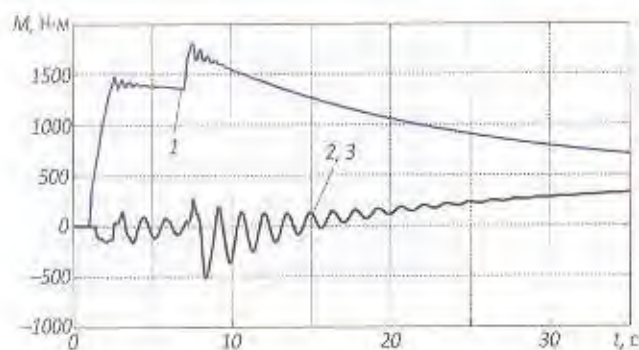
через 6 с и более запуск хвостового электродвигателя на ВС, затем через $\Delta t_2 = 0,25$ с запуск обоих головных (Γ) двигателей на ВС.

Условная запись алгоритма: $X_1 - (\Delta t_1 = 1,5 \text{ с}) - \Gamma_1 - (\Delta t_2 = 0) - \Gamma_2 - (> 6 \text{ с}) - X_2 - (\Delta t_3 = 0,25 \text{ с}) - \Gamma_1 - (\Delta t_4 = 0) - \Gamma_2$. Здесь индексы 1 и 2 означают соответственно включение на НС и ВС. Этот алгоритм и значения интервалов времени устанавливали эмпирически без инструментальных замеров и без учета особенностей эксплуатации конвейера в конкретном очистном забое: длину, угол и направление транспортирования, степень загрузки и другие параметры. Реализация данного алгоритма в ряде случаев приводила к неравномерному распределению нагрузки между приводами, ухудшению динамики пуска и увеличению времени переходных процессов.

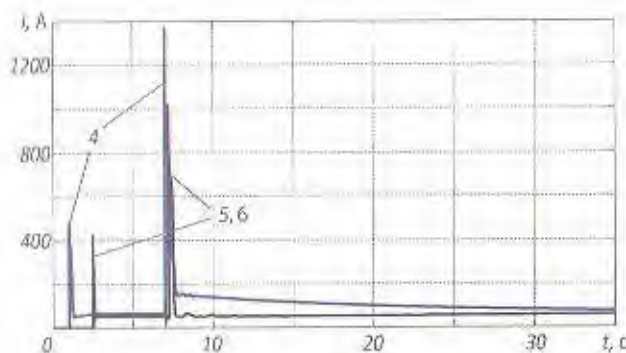
Для изучения закономерностей пусковых режимов конвейера была проведена серия вычислительных экспериментов с использованием математической модели [2]. Моделировались различные случаи пуска трехприводного скребкового конвейера КСД27.

Тяговый орган в модели представлен как совокупность конечных элементов, состоящих из массы и линейной упруго-диссипативной связи, работающей только на растяжение. В разработанной математической модели использовано математическое описание электромагнитных процессов в двухскоростных асинхронных двигателях, приведенное в работе [4].

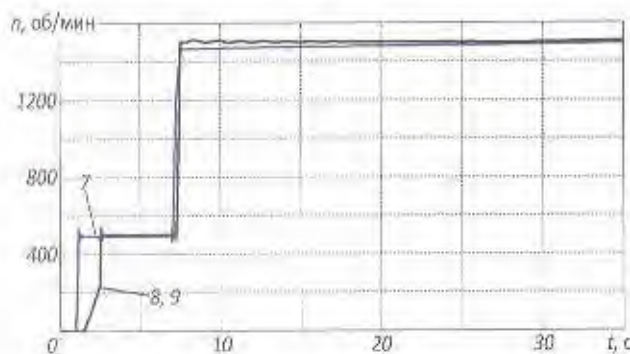
На рис. 1 в качестве примера показаны полученные в вычислительном эксперименте осциллограммы при-



а



б



в

Рис. 1. Осциллограммы процесса пуска по базовому алгоритму трехприводного конвейера КСД27: 1, 2, 3 – моменты в редукторе соответственно хвостового и двух головных приводов; 4, 5, 6 – токи хвостового и двух головных электродвигателей; 7, 8, 9 – частоты вращения роторов хвостового и двух головных электродвигателей.

веденных к электродвигателю моментов в приводах (а), токов (б) и частот вращения роторов электродвигателей (в) при пуске по базовому алгоритму загруженного на всю длину трехприводного конвейера КСД27 длиной 315 м, транспортирующего горную массу вниз под углом 13°. Масса груза на 1 м полотна конвейера при-

нималась 90 кг, что соответствует производительности примерно 6 т/мин. Поскольку запуск обоих головных приводов происходит одновременно и их параметры приняты одинаковыми, все величины, относящиеся к этим приводам, изменяются синхронно.

На осциллограмме видно, что запуск производится в основном под действием хвостового привода, оба головных электродвигателя практически не нагружены. Нагрузки в редукторах головных приводов в течение примерно 15 с имеют знакопеременный характер, что сопровождается на практике перекадкой зазоров и повышенными динамическими нагрузками. Процесс выравнивания нагрузки между приводами занимает достаточно продолжительное время (свыше 40 с).

Максимальный приведенный к валу двигателя момент в трансмиссии хвостового привода достигает 1800 Н·м (при номинальном моменте 1300 Н·м) и формируется при переходе на ВС. После выравнивания нагрузок приводов крутящий момент в каждом из приводов устанавливается на уровне 600 Н·м.

Анализ осциллограммы угловых скоростей роторов электродвигателей показывает, что запускаемый первым хвостовой двигатель примерно через 0,5 с после включения начинает раскручивать роторы головных двигателей. В момент подачи на статорную обмотку ИС головных электродвигателей напряжения они имеют угловую скорость примерно 230 об/мин.

Выявленная при вычислительных экспериментах высокая степень неравномерности распределения нагрузки между приводами трехприводного двухскоростного конвейера КСД27 подтверждается результатами замеров электрических параметров приводов, выполненных специалистами ДП «Донинпроуглемаш» в условиях 8-й восточной лавы шахты им. В. М. Бажанова ГП «Максуголь». Длина трехприводного конвейера КСД27 в период замеров составляла 280 м, транспортирование груза – практически по горизонтали. На рис. 2 приведены осциллограммы мощности приводных электродвигателей при пуске на ИС (а) и переходе на ВС (б). Алгоритм пуска для рассматриваемого случая имел вид: $X_1 - (\Delta t_1 = 0,41 \text{ с}) - \Gamma 1_1 - (\Delta t_2 = 0,27 \text{ с}) - \Gamma 2_1 - (15 \text{ с}) - X_2 - (\Delta t_3 = 0,56 \text{ с}) - \Gamma 1_2 - (\Delta t_4 = 0) - \Gamma 2_2$.

Как видно из рис. 2, при пуске по указанному алгоритму оба головных электродвигателя практически не нагружены, причем в отдельные периоды времени они работают в генераторном режиме.

Таким образом, используемые алгоритмы пуска трехприводного двухскоростного конвейера КСД27 в ряде случаев не обеспечивают согласованную работу приводов и требуют корректировки для конкретных горно-геологических условий.

В результате вычислительных экспериментов установлено, что на характер распределения нагрузки меж-

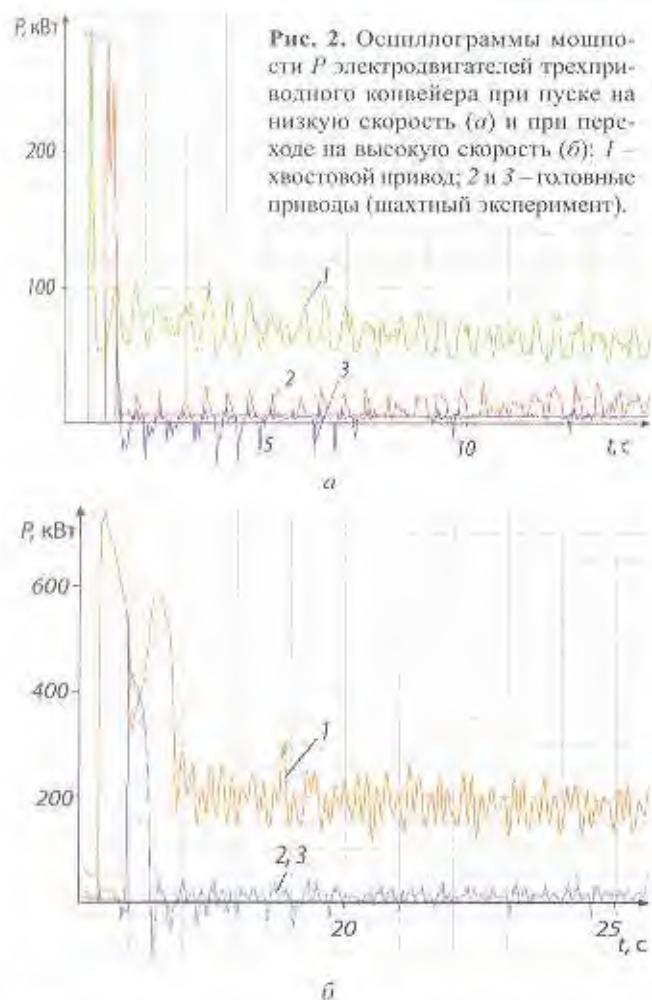


Рис. 2. Осциллограммы мощности P электродвигателей трехприводного конвейера при пуске на низкую скорость (а) и при переходе на высокую скорость (б): 1 – хвостовой привод; 2 и 3 – головные приводы (шахтный эксперимент).

ду приводами при пуске влияют, с одной стороны, длина конвейера, загрузка рабочей ветви конвейера (погонная и по длине конвейера), направление и угол транспортирования, слабину цепи в точках сбегания с приводных звездочек и, с другой стороны, параметры алгоритма пуска (прежде всего интервалы времени Δt_i).

Так, для случая, представленного на рис. 1, при увеличении загрузки рабочей ветви конвейера до 221 кг/м и транспортировании груза по горизонтали существенно снижается степень неравномерности пусковых нагрузок привода (рис. 3).

Степень неравномерности при работе на НС определяется главным образом задержкой времени Δt_1 . В результате моделирования установлено, что, как правило, для трехприводных конвейеров, в отличие от двухприводных [3], наилучший результат достигается при одновременном пуске всех двигателей на НС. На рис. 4 приведена осциллограмма процесса пуска загруженного на всю длину трехприводного конвейера КСД27 длиной 315 м по базовому алгоритму при

$\Delta t_1 = 0$ с. Из сравнения осциллограмм рис. 1 и рис. 4 следует, что при одновременном пуске на НС неравномерность распределения нагрузки между приводами существенно снижается.

Значительное влияние на процесс формирования нагрузки приводов при пуске оказывает не только величина Δt_1 , но и время задержки при переходе на высокую скорость Δt_3 . Критерием является продолжительность процесса выравнивания нагрузок между приводами, которую требуется минимизировать. При этом наилучшие результаты достигаются в случае одновременного пуска двигателей на ВС, т. е. при $\Delta t_3 = \Delta t_4 = 0$. Однако суммарные пусковые токи трех двигателей конвейера КСД27 в этом режиме достигают максимальных значений, поэтому в реальных условиях питания от шахтных сетей этот режим не всегда можно реализовать.

При ограниченной мощности питающей подстанции Δt_3 следует увеличивать до 0,25 с. Дальнейшее воз-

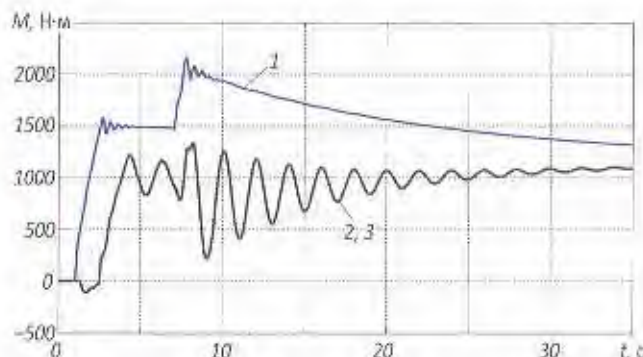


Рис. 3. Осциллограмма моментов при пуске по базовому алгоритму загруженного на всю длину трехприводного конвейера КСД27 длиной 315 м: 1 – хвостовой привод; 2 и 3 – два головных привода, погонная масса груза 221 кг, угол транспортирования 0° (вычислительный эксперимент).

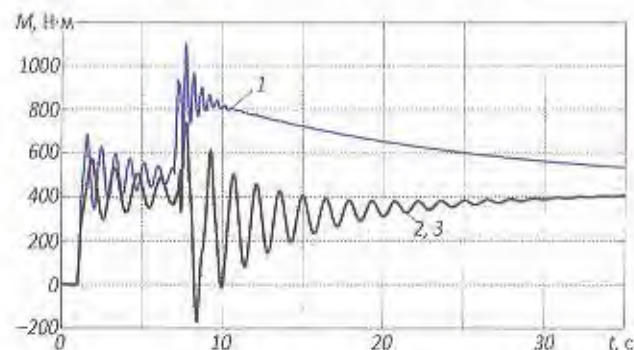


Рис. 4. Осциллограмма моментов при пуске загруженного на всю длину трехприводного конвейера КСД27 длиной 315 м при $\Delta t_1 = 0$ с: 1 – хвостовой привод; 2 и 3 – два головных привода (вычислительный эксперимент).

растание задержки времени Δt_3 при пуске на ВС, как правило, нерационально, поскольку приводит к существенному удлинению времени выравнивания нагрузки между приводами. В некоторых случаях положительный эффект возможен при изменении очередности запуска приводов на ВС – сначала запускается головной привод, а затем хвостовой. Окончательно принять рациональные значения Δt_3 и последовательность пуска на ВС целесообразно в результате проведения вычислительных экспериментов для заданных условий эксплуатации конвейера, используя разработанную математическую модель конвейера.

Таким образом, для заданных условий эксплуатации можно подобрать такие значения интервалов времени Δt_1 , при которых неравномерность распределения нагрузок между приводами будет минимальной. При выполнении этого условия обеспечивается согласованная работа приводов и возможность преодоления повышенных нагрузок при тяжелых пусках нагруженного конвейера, а также исключается многократная перекладка зазоров в редукторе, которая отрицательно сказывается на его долговечности.

Использование традиционных алгоритмов пуска трехприводного конвейера КСД27, работающего в условиях 8-й восточной лавы шахты им. В. М. Бажанова, создавало проблемы при пуске конвейера длиной 280 м, и прогнозировалось их обострение при ожидаемом увеличении длины лавы до 350 м. Одна из важнейших причин этого состоит в неравномерности распределения нагрузки между приводами при пуске (см. рис. 2). Выполненные исследования позволили определить рациональный алгоритм пуска трехприводного конвейера КСД27 в заданных условиях, который предусматривает практически одновременный запуск всех двигателей на низкую и высокую скорости.

Осциллограммы мощности электродвигателей конвейера КСД27 при пуске по предложенному алгоритму, полученные при экспериментальных исследованиях конвейера в 8-й восточной лаве шахты им. В. М. Бажанова, показывают, что при пуске на низкую скорость нагрузка всех электродвигателей примерно одинакова. При переходе на высокую скорость в начальный период несколько больше нагружены головные двигатели (на 60%), однако через 5–10 с средний уровень нагрузки всех электродвигателей выравнивается. Реализация предложенного алгоритма обеспечила надежную и высокопроизводительную работу конвейера в данной лаве с конца мая 2009 г. по настоящее время. При этом общая добыча составила более 1 млн. т, а среднесуточная – 1618 т.

Во время эксплуатации конвейера его загрузка непрерывно меняется, что связано с изменением производительности комбайна и его местоположением в лаве. Следовательно, чтобы обеспечить равномерное

распределение нагрузки между приводами, алгоритм пуска многоприводного конвейера должен оперативно изменяться. Этого можно достичь на основе создания адаптивной, самообучающейся системы управления забойным скребковым конвейером, которая измеряет нагрузки в приводах при состоявшемся пуске, время работы конвейера, скорость и направление движения комбайна и использует эти измеренные значения для определения параметров алгоритма последующего запуска.

Выводы. При пуске двухскоростных трехприводных забойных конвейеров основными параметрами, определяющими степень неравномерности распределения нагрузки между приводами, являются интервалы времени Δt_1 между запусками хвостового и головных приводов на низкую и высокую скорости. Критерий для выбора рациональных значений этих параметров – равенство средних уровней нагрузки на приводы в пусковых режимах. Рациональные значения Δt_1 существенно зависят от длины и степени загрузки конвейера, угла и направления транспортирования и слабости цепи, поэтому не существует универсального алгоритма запуска двухскоростных трехприводных скребковых конвейеров. Для заданных условий эксплуатации с учетом возможностей сети электропитания указанные рациональные значения параметров целесообразно определять путем моделирования пусковых режимов с использованием разработанной математической модели скребкового конвейера. Следует продолжить исследования в направлении создания адаптивных, самообучающихся систем управления многоприводными двухскоростными скребковыми конвейерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, Г. В. Скребковые конвейеры нового технического уровня / Г. В. Андреев, И. В. Косарев, И. Т. Лелека, В. И. Довженко // Уголь Украины. – 2003. – № 9. – С. 36–38.
2. Кондрахин В. П. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера / В. П. Кондрахин, А. А. Мельник, В. В. Косарев [и др.] // Наукові праці ДонНТУ: сер. гірничо-електромех. – Донецьк, 2008. – Вип. 16 (142). – С. 141–148.
3. Кондрахин В. П. Оптимизация алгоритма пуска многоприводных двухскоростных забойных конвейеров / В. П. Кондрахин, Н. И. Стадник, В. В. Косарев, И. В. Косарев // Форум гірників–2009: матеріали міжнар. конф., 30 верес. – 3 жовт. 2009 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – С. 190–196.
4. Кондрахин В. П. Моделирование пусковых режимов скребкового конвейера типа КСД / В. П. Кондрахин, В. Ф. Борисенко, А. А. Мельник [и др.] // Наукові праці ДонНТУ: сер. гірничо-електромех. – Донецьк, 2007. – Вип. 13 (123). – С. 64–73.