

УДК 62-83:621.867.2:681.5(075.8):622.7

ТРЕХДВИГАТЕЛЬНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СИНХРОННОГО ВРАЩЕНИЯ ШАХТНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Д.Б. Акпанбетов

*Казахский национальный технический университет
им. К.И. Сатпаева*

Д.Ж. Сарсембаев

Жезказганский университет им. О.А. Байконурова

В настоящее время на подземных рудниках корпорации «Казахмыс» (рудники «Степной», «Анненский», «Жомарт») внедрена конвейерная технология транспортирования руды, которая вытеснила электровозную откатку, применявшуюся уже десятки лет, как основное средство доставки руды от рудоспусков до околоствольного двора.

Достоинствами ленточных конвейеров являются [1, 2]: высокая производительность, мало зависящая от крупности и влажности материала; возможность транспортирования руды по горизонтали, под уклон и на подъем до 30°; возможность удлинения конвейера; удобство загрузки конвейера с дробилки или прямо с рудоспуска через специальные затворы; сравнительно небольшой шум при работе.

Определение составных элементов привода ленточных конвейеров и выбор системы управления ими должны базироваться на знании: режима работы конвейера; числа приводных барабанов и электродвигателей; месторасположения приводных барабанов; условий работы [3]. Режим работы конвейера характеризуется: продолжительной работой в течение значительного промежутка времени; редкими пусками и остановками; постоянством направления движения тягового органа конвейера; неравномерностью нагрузки, сравнительно тяжелыми условиями пуска.

Конструкция аппаратуры автоматизации конвейеров должна удовлетворять требованиям «Правил изготовления взрывозащищенного рудничного электрооборудования для угольных шахт и нормального исполнения для шахт не опасных по газу и пыли», обеспечивать надежную работу в условиях высокой влажности и запыленности среды при напряжениях 660, 380 или 36 В с использованием магнитных пускателей серий ПМВ и ПМВИ, иметь искробезопасные выходные параметры цепей управления, контроля и сигнализации.

Известно, что определение составных элементов привода ленточных конвейеров и выбор системы управления ими должны базироваться на знании: режима работы конвейера; числа приводных барабанов и электродвигателей; месторасположения приводных барабанов; условий работы [3]. В настоящее время разработаны автоматизированные системы, способные обеспечить управление линиями с числом конвейеров до 60 при неограниченном количестве ответвлений [4]. В составе линий могут быть ленточные и скребковые конвейеры с числом двигателем до четырех и с нерегулируемой скоростью рабочего органа.

На руднике «Жомарт» для автоматизации цикла доставки руды от забоя до бункера дробленой руды на горизонте -190 м применена автоматизированная система управления конвейерным транспортом (*АСУ КТ*), разработанная ООО «Научно-производственное предприятие Уральской государственной горно-геологической академии» (г. Екатеринбург). Режим работы установки – 350 дней в году, минимум 18 часов в сутки, 6480 рабочих часов в год. Срок службы системы – не менее 7 лет.

АСУ КТ предназначена для автоматизации следующих процессов [5]:

- отработки технологических последовательностей запуска и останова магистральных *КЛ* №№1,2,3,4, предназначенных для транспортирования руды по рудному горизонту с загрузкой в бункер дробленой руды в руддворе, работающих в функции заполнения бункера;
- контроля технического состояния машин и механизмов;
- обеспечения блокировок и защит, обнаружения предаварийных и аварийных ситуаций, формирования команд аварийного останова *КЛ*;
- передачи информации о параметрах и состоянии оборудования комплекса *КЛ* и наполнении бункера дробленой руды на автоматизированное рабочее место оператора (*АРМО*) на отметке +64 м башенного копра.

Структурная схема автоматизированной конвейерной линии показана на рисунке 1.

Система *АСУ КТ* имеет трехуровневую иерархическую структуру, включающую:

- диспетчерский уровень, *АРМО* системы со средствами операторского интерфейса;
- уровень централизованного управления *АСУ КТ*, состоящий из центрального поста управления (*ЦПУ*) *АСУ КТ*;
- уровень управления технологическим объектом, состоящий из индивидуальных контуров управления электроприводом *САУ КЛ1-САУ КЛ4*.

Дистанционное управление подсистемами *АСУ КТ* осуществляется с панели *ЦПУ АСУ КТ*, расположенной под землей на отметке -190 м.

Электроснабжение *АСУ КТ* обеспечивается напряжением 380 В, 50 Гц через силовой автоматический выключатель от комплектной трансформаторной подстанции с первичным напряжением 6 кВ.

Технологический комплекс состоит из комплекса *КЛ* и *АРМО*. Комплекс *КЛ* составляют четыре *КЛ* типа УКЛС-1200-У и два приемных бункера.

Частотный преобразователь (*ЧПП*) предназначен для плавного пуска двигателя *КЛ*, управления двигателем в режимах рабочей и ремонтной скорости конвейера, защиты двигателя от перегруза, обрыва фазы и др. *ЧПП* Danfoss (Дания) в зависимости от их мощности имеют или напольное исполнение (315 кВт) или исполнение в виде навесного шкафа (200 кВт, 75 кВт). На передней панели преобразователя располагается съемная панель управления. Информация по состоянию *ЧПП* передается в шкаф управления по интерфейсу RS-485. Эксплуатация и программирование *ЧПП* осуществляется в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

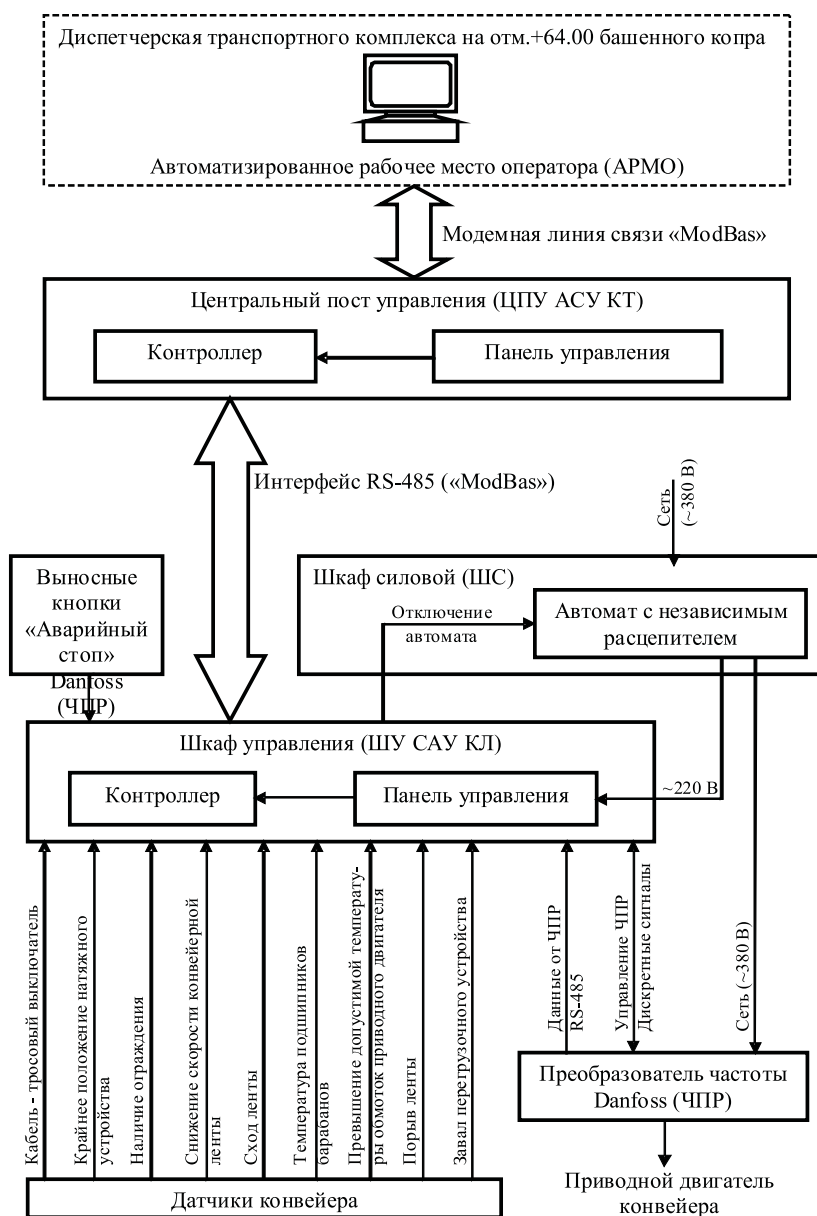


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной однодвигательной конвейерной линии

Силовой шкаф (*ШС*) содержит: выключатели автоматические, трансформатор, пускатели, диодные матрицы, вставки плавкие, реле промежуточные, диоды светоизлучающие, резисторы, конденсаторы.

Для построения средств локальной автоматики была выбрана контроллерная платформа производства ФГУП НПО «Автоматика» (г.Екатеринбург, Россия). Связь между *АРМО* и *ЦПУ АСУКТ* осуществляется по протоколу ModBus по модемной линии связи с использованием модема Telebyte 227.

Применение в качестве привода конвейера асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с повышенным пусковым моментом может привести к созданию повышенных динамических усилий в тяговом органе в период пуска незагруженного конвейера. Для пуска конвейеров большой протяженности необходимо плавное приложение движущего момента, что позволит снизить перенапряжения в тяговом органе, вызываемые упругими деформациями.

Поэтому при конвейерах большой длины с многодвигательным электроприводом ставится задача автоматического регулирования отдельных двигателей с целью перераспределения нагрузки между ними и обеспечения равномерности натяжения ленты по ее длине [6,7].

На рисунке 2 приведена структурная схема многодвигательного асинхронного электропривода ленточного конвейера, обеспечивающая синхронное вращение электродвигателей [8].

Многодвигательный электропривод конвейера состоит из трех асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (*АД1-3*), трех преобразователей частоты (*ПЧ1-3*), трех регуляторов скоростей (*РС1-3*). Каждый АД с ПЧ имеет свою обратную связь по скорости с коэффициентами обратных связей $k_{\alpha c1}$, $k_{\alpha c2}$, $k_{\alpha c3}$. Для обеспечения синхронного вращения двигателей введены дополнительно обратные связи по рассогласованию скоростей двигателей ($k_{\alpha p.c1}$, $k_{\alpha p.c2}$, $k_{\alpha p.c3}$). Скорости первого $\Delta\omega_1$ и второго $\Delta\omega_2$ двигателей сравниваются в устройстве Σ_1 , выходной сигнал $\Delta u_{o.p.c21} = k_{o.p.c1} \Delta\omega_{21}$ с которого подается в устройство Σ_{14} , где поданный сигнал $\Delta u_{p.c13}$ сравнивается с задающим сигналом управления $\Delta u_{c.\bar{n}}$ и с отрицательным сигналом рассогласования скоростей $\Delta u_{p.c13}$ первого и третьего

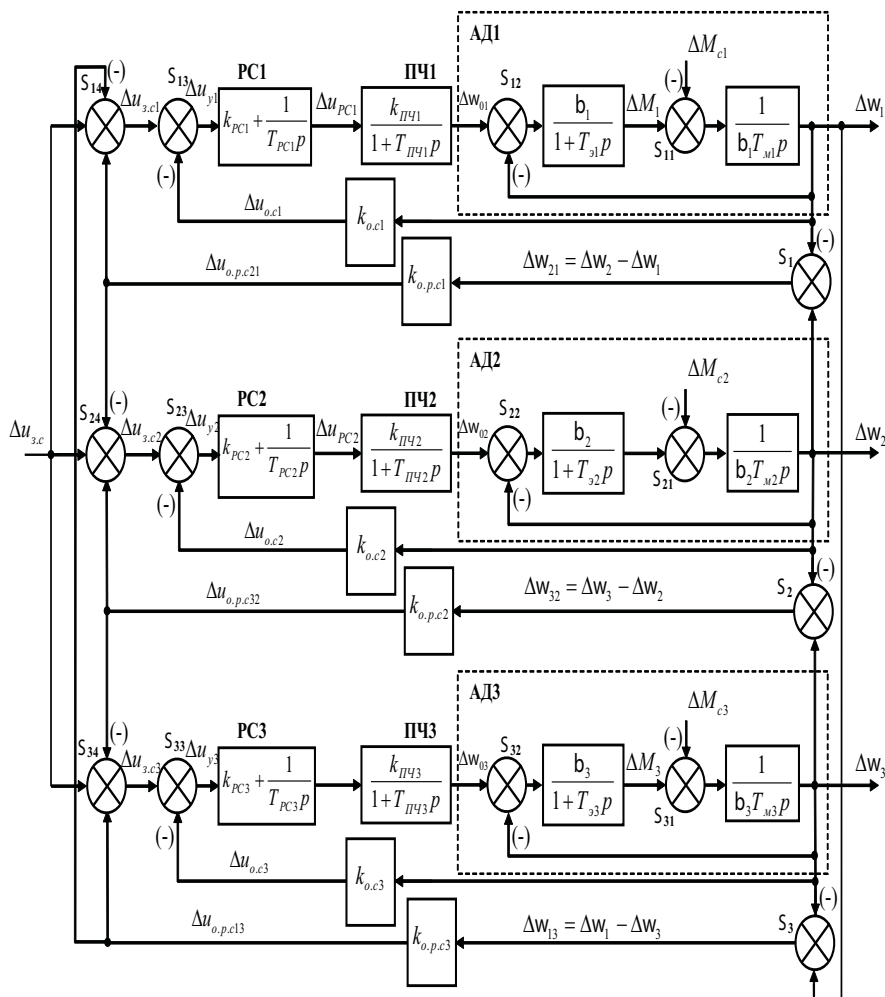


Рисунок 2 – Трехдвигательный асинхронный электропривод с преобразователями частоты ленточного конвейера

двигателей, после чего подается задающий сигнал управления $\Delta u_{c.\tilde{n}1}$ на первый АД с ПЧ МАЭП. Скорости второго $\Delta\omega_2$ и третьего $\Delta\omega_3$ двигателей сравниваются в устройстве Σ_2 , выходной сигнал $\Delta u_{o.p.c32} = k_{o.p.c2} \Delta\omega_{32}$ с которого подается в устройство Σ_{24} , где поданный сигнал $\Delta u.p.c_{13}$ сравнивается с задающим сигналом управления $\Delta u_{c.\tilde{n}}$ и с отрицательным сигналом рассогласования скоростей $\Delta u_{i.\delta.\tilde{n}2}$ первого и второго двигателей, после чего подается задающий сигнал управления $\Delta u_{c.\tilde{n}2}$ на второй АД с ПЧ МАЭП. Скорости первого $\Delta\omega_1$ и третьего $\Delta\omega_3$ двигателей сравниваются в устройстве Σ_3 , выходной сигнал $\Delta u_{o.p.c13} = k_{o.p.c3} \Delta\omega_{13}$ с которого подается в устройство Σ_{34} , где поданный сигнал $\Delta u.p.c_{13}$ сравнивается с задающим сигналом управления $\Delta u_{c.\tilde{n}}$ и с отрицательным сигналом рассогласования скоростей $\Delta u_{i.\delta.\tilde{n}3}$ второго и третьего двигателей, после чего подается задающий сигнал управления $\Delta u_{c.\tilde{n}3}$ на третий АД с ПЧ МАЭП.

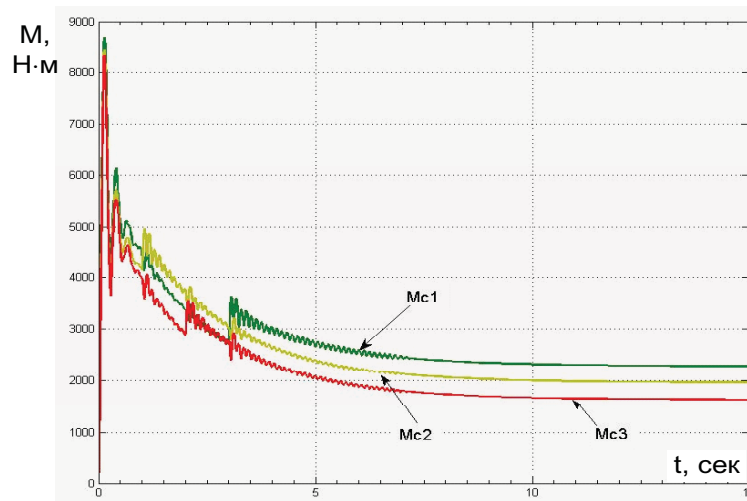
В программном расширении Simulink программного пакета MatLab7.0 выполнено моделирование переходных процессов при различных нагрузках, согласно структурной схеме, показанной на рисунке 2. На рисунке 3 приведены программа расчета и осциллограммы переходных процессов.

```

Editor - C:\Program Files\MATLAB7\work\MAEP.m*
1 function dx=MAEP(Lx)
2 dx=zeros(12,1);
3 b1=1098.039; b2=1098.039; b3=1098.039; Tm1=0.344; Tm2=0.344; Tm3=0.344;
4 Te1=0.086; Te2=0.086; Te3=0.086; Krc1=20; Krc2=20; Krc3=20;
5 Koc1=0.4; Koc2=0.4; Koc3=0.4; Korc1=0.6; Korc2=0.6; Korc3=0.6;
6 Trc1=0.1; Trc2=0.1; Trc3=0.1; Tpch1=0.001; Tpch2=0.001; Tpch3=0.001;
7 Uz=10; Kpch1=2; Kpch2=2; Kpch3=2; Mnom=1632;
8 if t<=3 Mc1=Mnom; else Mc1=1.4*Mnom; end;
9 if t<=2 Mc2=0.8*Mnom; else Mc2=1.2*Mnom; end;
10 if t<=2 Mc3=0.7*Mnom; else Mc3=Mnom; end;
11 dx(1)=(1/(b1*Tm1))*x(2)-(1/(b1*Tm1))*Mc1;
12 dx(2)=(b1/Te1)*x(3)-(b1/Te1)*x(1)-(1/Te1)*x(2);
13 dx(3)=(Kpch1/Tpch1)*x(4)-(1/Tpch1)*x(3);
14 dx(4)=Krc1*Korc1*(b2*Tm2)*x(6)-Mc2*(Korc1+Korc3+Koc1)/(b1*Tm1)*x(2)-Mc1+Krc1*Korc3/(b3*Tm3)*x(10)-Mc3+...
15 Uz/Trc1+Korc1/Trc1*x(5)-(Korc1+Korc3+Koc1)/Trc1*x(1)+Korc3/Trc1*x(8);
16 dx(5)=(1/(b2*Tm2))*x(6)-(1/(b2*Tm2))*Mc2;
17 dx(6)=(b2/Te2)*x(7)-(b2/Te2)*x(5)-(1/Te2)*x(6);
18 dx(7)=(Kpch2/Tpch2)*x(8)-(1/Tpch2)*x(7);
19 dx(8)=Krc2*Korc2*(b3*Tm3)*x(10)-Mc3-Krc2*(Korc2+Korc1+Koc2)/(b2*Tm2)*x(6)-Mc2+Krc2*Korc1/(b1*Tm1)*x(2)-Mc1+...
20 Uz/Trc2+Korc2/Trc2*x(9)-(Korc2+Korc1+Koc2)/Trc2*x(5)+Korc1/Trc2*x(1);
21 dx(9)=(1/(b3*Tm3))*x(10)-(1/(b3*Tm3))*Mc3;
22 dx(10)=(b3/Te3)*x(11)-(b3/Te3)*x(9)-(1/Te3)*x(10);
23 dx(11)=(Kpch3/Tpch3)*x(12)-(1/Tpch3)*x(11);
24 dx(12)=Krc3*Korc3*(b1*Tm1)*x(2)-Mc1-Krc3*(Korc3+Korc2+Koc3)/(b3*Tm3)*x(10)-Mc3+Krc3*Korc2/(b2*Tm2)*x(6)-Mc2+...
25 Uz/Trc3+Korc3/Trc3*x(1)-(Korc3+Korc2+Koc3)/Trc3*x(9)+Korc2/Trc3*x(5);
26 end

```

а)



б)

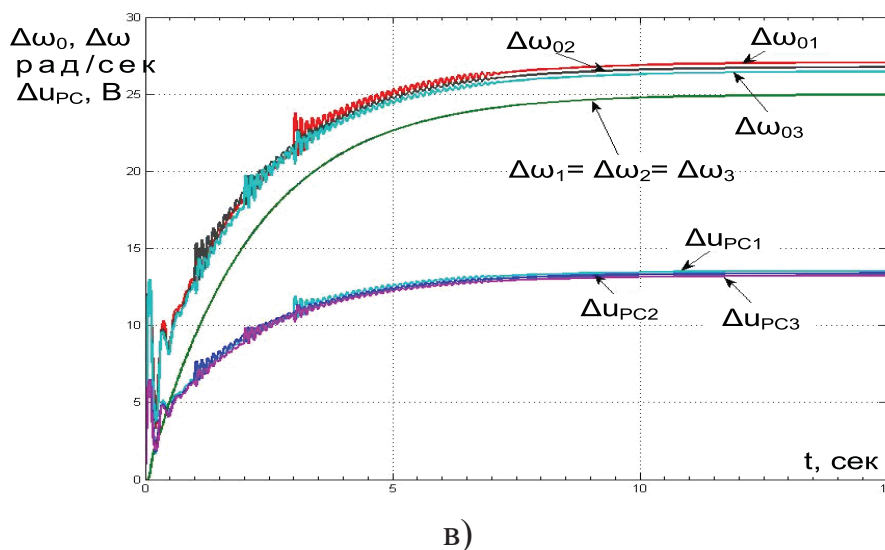


Рисунок 3 – Программа расчета (а) и осциллограммы переходных процессов

(б – моменты, в – сигналы с выходов ПЧ1-3, РС1-3; угловые скорости) трехдвигательного асинхронного электропривода при различных статических нагрузках во времена $t=1\text{с}$, $t=2\text{с}$, $t=3\text{с}$

Таким образом, как показали результаты моделирования, разработанный многодвигательный асинхронный электропривод обеспечивает надежную синхронную работу электродвигателей в различных режимах работы (синхронный плавный пуск, останов, синхронное торможение), тем самым обеспечивает бесперебойное и безопасное транспортирование конвейерным комплексом отбитой горной массы от забоев до бункеров дробленой руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В.Н., Дьяков В.А., Пухов Ю.С. Транспортные машины для подземных разработок. - М.: Недра, 1984. - 383 с.
2. Полунин В.Т., Гуленко Г.Н. Эксплуатация мощных конвейеров. - М.: Недра, 1986. - 344 с.
3. Малиновский А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников. - М.: Недра, 1987. - 277 с.
4. Ткачев В.В. и др. Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом (статья) / Горный журнал №6, 1999 г., С. 48-50.
5. АСУ ТП конвейерным транспортом на горизонте-190 м. Т1. – Екатеринбург: НПО «УГГГА», 2005. – 65 с.
6. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: МГУ, 2005. – 543 с.

7. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: Академия, 2004. – 576 с.

8. Акпанбетов Д.Б. Энергосберегающий многодвигательный асинхронный электропривод ленточного конвейера: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Алматы, 2010. – 16 с.

Түйіндеме

Мақалада «Жомарт» кенішінің конвейер кешенінің автоматтандырылған басқару жүйесінің орындау функциясы мен мақсаттары көрсетіліп, электр қозғалтқыштары синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі құрылып зерттелді. Модельдеу нәтижелері көрсеткендей, құрастырылған көпқозғалтқышты асинхронды электр жетек әр түрлі жұмыс істеу режимдерінде электр қозғалтқыштардың берікті синхронды жұмысын қамтамасыз етеді. Соның нәтижелері конвейер кешенімен үгілген тау массаларын үздіксіз және қауіпсіз тасымалдауға мүмкіндік береді.

Resume

In article function of work and the purpose of the automated control system are considered by a conveyor complex of mine “Zhomart”, the three-impellent asynchronous electric drive of synchronous rotation of the tape conveyor is developed and researched. As have shown results of the modelling, the developed multiimpellent asynchronous electric drive provides reliable synchronous work of electric motors in various operating modes, thereby provides uninterrupted and safe transportation by a conveyor complex of the beaten off mountain weight from faces to bunkers broken ores.

УДК 681-5

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Е. Аринов, Ж.Е. Сарсенбаев

Жезказганский университет им. О.А. Байконурова, г. Жезказган

Предполагается, что рассматриваемая выработка проведена в неоднородном изотропном массиве на достаточно большой глубине H