

УДК 622-625.28-83

**О.Н. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа,**  
**И.О. Синчук**, канд. техн. наук

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО КОНТАКТНО–АККУМУЛЯТОРНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

*Проведено исследование на модели режимов работы системы тягового асинхронного электропривода рудничного контактно-аккумуляторного электровоза с широтно-импульсной модуляцией напряжения питания от контактной сети и тяговой аккумуляторной батареи.*

*Ключевые слова:* закон управления, тяговый электрический комплекс, электровоз

**O.M. Sinchuk**, ScD,  
**D.A. Shokar'ov, E.I. Skapa,**  
**I.O. Sinchuk**, Ph.D

### DYNAMIC MODES SIMULATION OF ELECTRIC TRAIN MINE ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE OF CONTACT-BATTERY TYPE

*A survey on the model of modes of traction asynchronous electric mine locomotive battery contact and the model of pulse width modulated voltage of the catenary, and traction battery are presented.*

*Keywords:* control, traction electric range, electric locomotive.

**О.М. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Д.А. Шокарьов, Е.І. Скапа,**  
**І.О. Синчук**, канд. техн. наук

### МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО КОНТАКТНО-АКУМУЛЯТОРОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

*Проведено дослідження на моделі режимів роботи системи тягового асинхронного електропривода рудничного контактно-аккумуляторного електровоза з широтно-імпульсною модуляцією напруги живлення від контактної мережі і тягової аккумуляторної батареї*

*Ключові слова:* закон управління, тяговий електричний комплекс, електровоз.

**Введение.** В шахтах и рудниках Украины эксплуатируется более 3,5 тыс. различных типов контактных и аккумуляторных электровозов. Практически все эти электровозы оборудованы неэнергоэффективными видами тяговых электроприводов постоянного тока с контактно-резисторными системами управления [2].

**Актуальность направления исследований.** В последние годы в отечественных шахтах и рудниках начали появляться давно ожидаемые эксплуатационниками экспериментальные образцы энергоэффективных электровозов с IGBT–преобразователями напряжения питания тяговых асинхронных двигателей (ТАД) [2,3]. Благодаря усилиям учёных и машиностроителей на основе научных изысканий появился и новый для отечественной горной промышленности вид рудничного электровоза – контактно-аккумуляторный [3], получающий питание как от контактной сети (КС), так и от тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) [2,3].

**Цель исследований:** анализ динамических режимов тягового асинхронного электропривода (ТАП) контактно-аккумуляторного электровоза и проблемы, связанной с питанием тяговых асинхронных двигателей от двух источников – КС и ТАБ.

**Материалы исследования.** Объектом данного этапа исследований принята разработанная ранее структура тягового асинхронного электропривода рудничного контактно–аккумуляторного электровоза [3].

Учитывая возможность разнородности элементов схемы (в части временных характеристик и топологии схем замещения) построение модели системы проведено в среде

© Синчук О.Н., Шокарев Д.А., Скапа Е.И.,  
Синчук И.О., 2012

пакета PSIM.

Модель системы представлена на рис 1, она состоит из пяти блоков:

блок 1 – тяговая подстанция;

блок 2 – IGB транзисторный преобразователь;

блок 3 – тяговый асинхронный двигатель с разомкнутыми статорными обмотками;

блок 4 – аккумуляторная батарея;

блок 5 – система управления IGB транзисторным преобразователем.

При моделировании были приняты следующие допущения:

ключевые элементы (полупроводниковые приборы) и источники питания (КС, ТАБ) силовой цепи асинхронного тягового привода – полупроводниковые приборы – имеют линейные характеристики;

не учитывается насыщение магнитной цепи тяговых двигателей;

при создании асинхронных тяговых приводов была использована ранее разработанная [3] структура преобразователя электрической энергии, а также законы и алгоритмы управления для рудничных ТЭП.

В модели предусматривается двухсистемный режим питания тягового электро-

привода, обеспечивающий питание как от контактной сети (275 В), так и от аккумуляторной батареи (80 В);

система формирования напряжения питания по классическому синусоидальному закону управления;

система формирования напряжения питания по предлагаемому трапецеидальному закону управления.

В ходе моделирования исследованы:

режимы пуска и работы под нагрузкой ТАД с ШИМ напряжения питания при синусоидальном и трапецеидальном законе формирования выходного напряжения;

переходные процессы изменения токов, скорости и моментов ТАД при их параметрической несимметрии статорных и роторных цепей;

переходные процессы изменения токов, скорости и моментов тяговых асинхронных двигателей при различных режимах работы питания КС–ТАБ.

На рис. 2–5 представлены осциллограммы фазных токов на зажимах ТАД и их гармонический состав при синусоидальном и трапецеидальном законе ШИМ выходного напряжения.

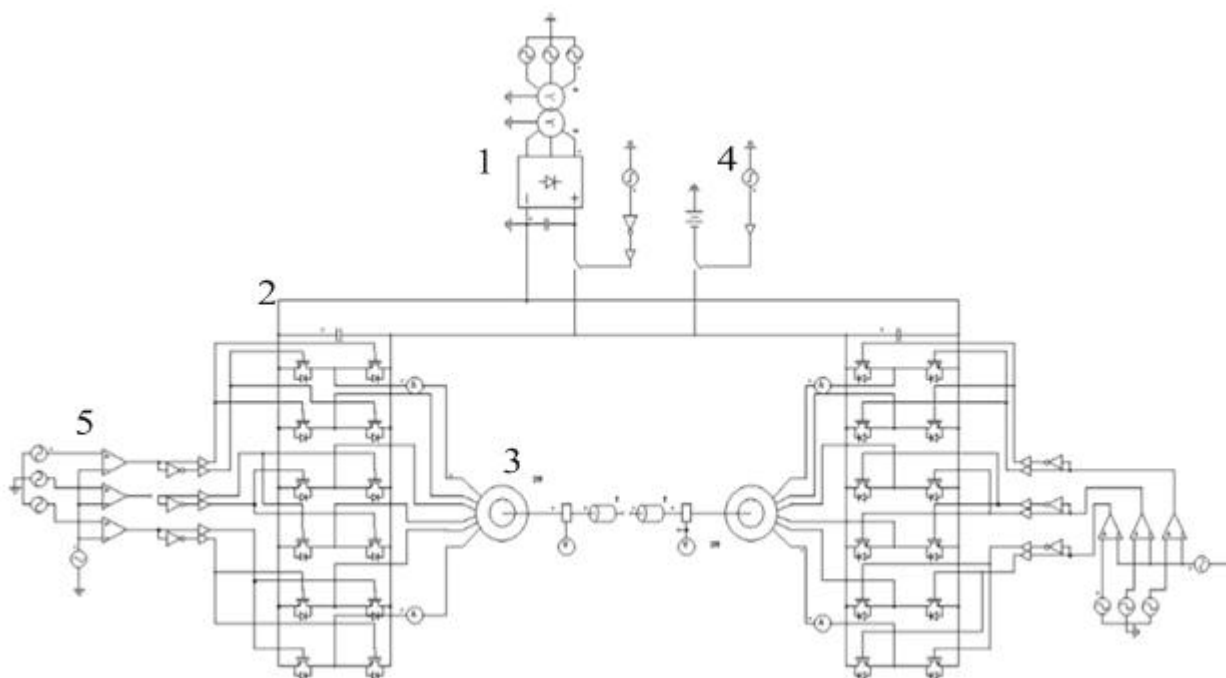


Рис. 1. Динамическая модель системы тягового асинхронного электропривода рудничного контактно–аккумуляторного электровоза

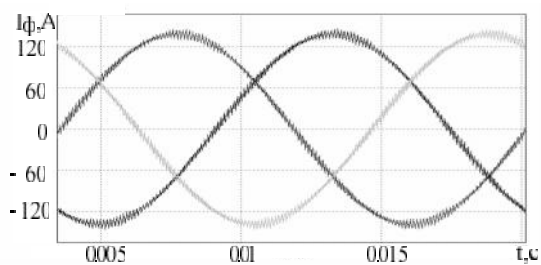


Рис. 2. График трехфазного тока тягового асинхронного двигателя при ШИМ напряжения питания по синусоидальному закону управления

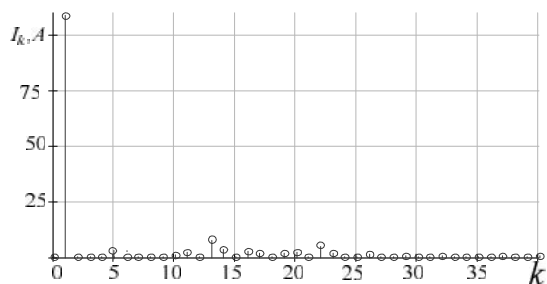


Рис. 3. Гармонический состав тока при ШИМ напряжения питания по синусоидальному закону управления

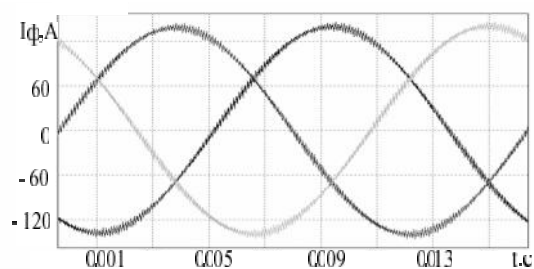


Рис. 4. График трехфазного тока тягового асинхронного двигателя при ШИМ напряжения питания по трапецеидальному закону управления

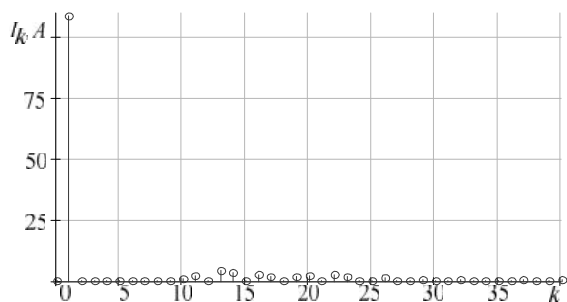


Рис. 5. Гармонический состав тока ШИМ напряжения питания при трапецеидальном законе управления

Чтобы оценить качество выходного напряжения, был рассчитан коэффициент искажения тока регулятора в соответствии с зависимостью

$$K_i = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{i=1}^K I_i^2}}, \quad (1)$$

где  $I_1$  – амплитуда первой гармоники,  $K$  – количество гармоник,  $I_i$  – амплитуда  $i$ -й гармоники.

В табл. 1 приведен сравнительный анализ гармонического состава напряжения и тока статора тягового асинхронного двигателя при различных законах управления.

1. Гармонический состав напряжения и коэффициент искажения тока статора тягового асинхронного двигателя при различных законах управления

Синусоидальный закон,				
Номер гармоники	1	18	36	54
Напряжение, В	203,57	50,3	22,92	21,9
Коэффициент искажения тока $K_i$	0,798			
Трапецеидальный закон,				
Номер гармоники	1	18	36	54
Напряжение, В	204,2	18,1	25,12	16,2
Коэффициент искажения тока $K_i$	0,823			

Как видно из таблицы, при трапецеидальном законе управления лучший гармонический состав выходных кривых напряжения и тока.

На рис. 6 и 7 приведены осциллограммы режимов тягового электропривода при параметрической несимметрии в разомкнутой системе.

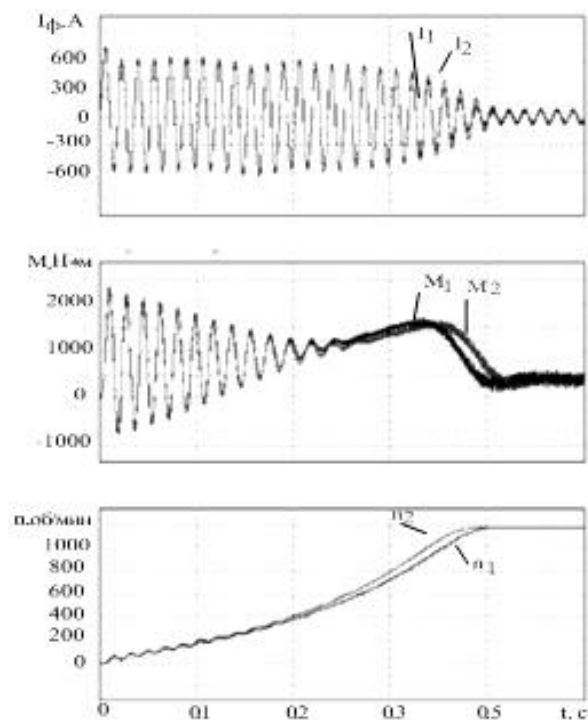


Рис. 6. Осциллограммы токов, моментов и угловых скоростей тяговых асинхронных двигателей при несимметрии активных сопротивлений статора

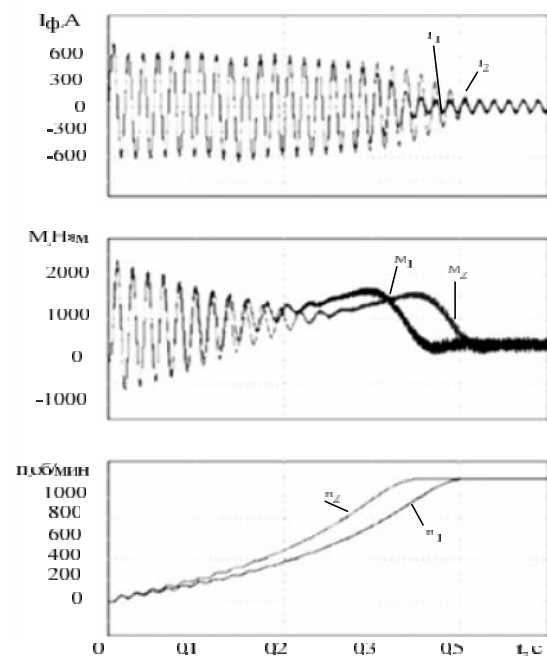
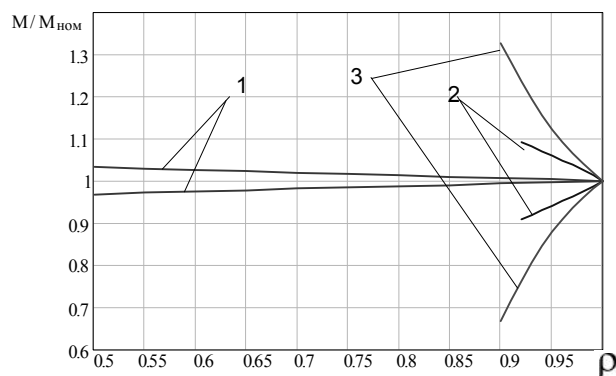


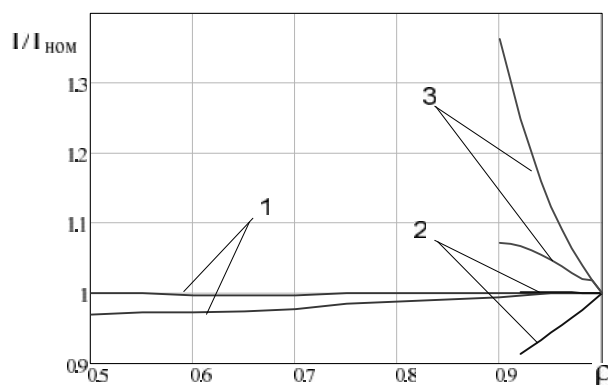
Рис. 7. Осциллограммы токов, моментов и угловых скоростей тяговых асинхронных двигателей при несимметрии индуктивных сопротивлений статора

Как видно из результатов моделирования, параметрическая несимметрия в ТАД приводит к изменению параметров протекания переходных процессов, что, в свою очередь, влияет на режим работы ТАП.

Количественные показатели режимов при несимметрии тяговых асинхронных двигателей, полученные по результатам моделирования, показаны на рис. 7.



а



б

Рис. 7. Диаграммы оценки влияния неравномерности моментов (а), токов статора (б) тяговых асинхронных двигателей при питании их от контактной сети:

1 – несимметрия активных сопротивлений статоров; 2 – несимметрия индуктивностей статоров; 3 – несимметрия индуктивностей контура намагничивания

На рис. 8 приведены осциллограммы переходных процессов в ТАД электропривода рудничного контактно-аккумуляторного электровоза при переходе ТАП на питание с одного источника на другой КС-ТАБ, ТАБ-КС.

Спад напряжения с уровня 275 В до 0 В происходит за время менее 200 мс. Спад тока и напряжения обусловлен разрядом конденсаторной батареи преобразователя через транзисторные ключи преобразователя. Длительность разряда КБ зависит от величины емкости и нагрузки на валу двигателя. «Подхват» питания (переход на ТАБ) осуществляется через 0,3с после исчезновения питания.

На рис. 9 представлена осциллограмма переходных процессов трехфазных токов и момента тягового двигателя ТАП при переключении питания электровоза с режима КС на режим питания от ТАБ.

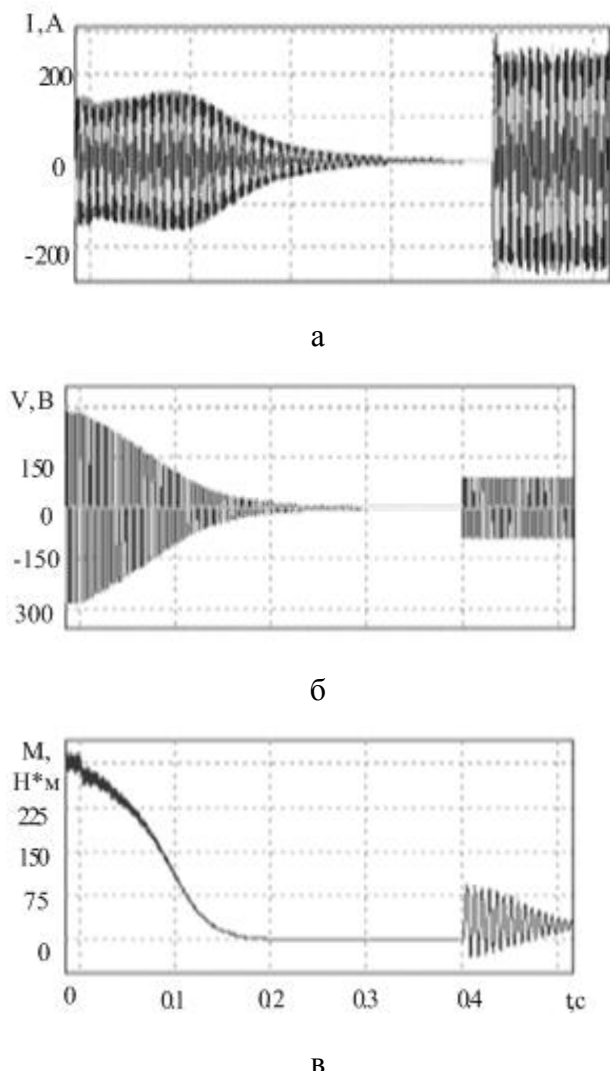


Рис. 8. Осциллограммы трехфазного тока статора (а), напряжения (б) и изменения момента тягового асинхронного двигателя (в) при отрыве пантографа и переходе питания от КС на ТАБ

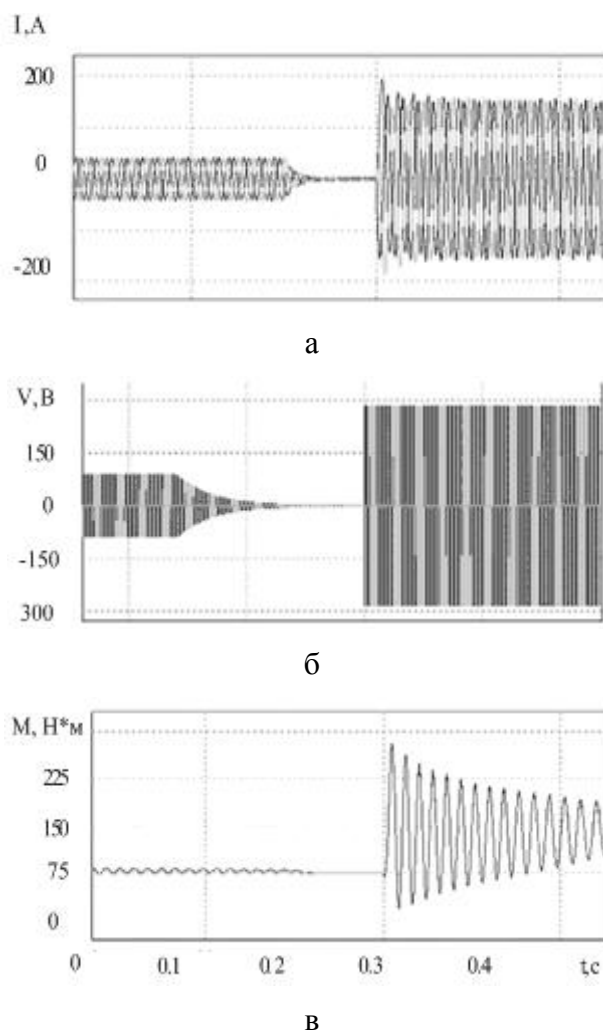


Рис. 9. Осциллограммы трехфазного тока статора (а), напряжения (б) и изменения момента тягового асинхронного двигателя (в) при отрыве пантографа и переходе питания от ТАБ на КС

Из приведенных осциллограмм можно сделать выводы о характере протекания электрических переходных процессов в тяговых асинхронных двигателях при различных системах питания – КС и ТАБ

**Выводы.** Создана математическая модель для исследования электромагнитных процессов в частотно-регулируемом электроприводе рудничного электровоза разработанной ранее авторами новой структуры ТАП.

Предпочтение следует отдать трапецидальному способу регулирования напряжения питания тяговых двигателей при ШИМ, а не синусоидальному, поскольку он обеспечивает минимальные коэффициенты искажения и наилучшие показатели, использова-

ния питающего напряжения и высших гармоник.

Возможности предложенной структуры тягового асинхронного электропривода в силу её синергетического вида делают её универсальной, – способной эффективно работать как при питании от аккумуляторной батареи, так и при питании от контактной сети.

#### Список использованной литературы

1. Контактно–аккумуляторный шахтный электровоз с тяговым электротехническим комплексом IGBT–инвертор–асинхронный двигатель [ Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа, И.О. Синчук, Ф.И. Караманиц ] / Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля. – Луганськ: – № 4(158). – Ч.1. – 2011. – С.172–178.

2. Системы управления шахтным электровозным транспортом / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, Н.И. Шулин, П.К. Саворский. – К.: – Техніка, 1985, – 198 с.

3. Шокарев Д.А. Энергоэффективный тяговый электротехнический комплекс двухсистемного рудничного электровоза / Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа, И.О. Синчук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С.145–147.

Получено 18.11.2011

#### References

1. Shokar'ov D.A., Scapa E.I., I.O Sinchuk, F.I. Karamanits. Contact-battery mine locomotive traction complex electrical IGBT–Inverter–asynchronous motor / News of Eastern Ukrainian National University named V. Dal. – Lugansk: – № 4(158). – Part 1. – 2011. – P.172–178 [in Ukrainian].

2. Sinchuk O.N., Guзов E.S., Shulin N.I., Savorsky P.K. Control Systems for mining locomotive transport. – Kiev: Tehnika, 1985. – 198 p. [in Ukrainian].

3. Shokar'ov D.A., Skapa E.I., Sinchuk I.O. Power effective traction electrotechnical complex of two-system mining locomotive / Elektrotechnical computer system. – 2011. – № 03(79). – P.145–147 [in Ukrainian].



Синчук  
Олег Николаевич,  
д-р. техн. наук, проф.,  
зав.каф. «СЕЕМ» Кре-  
менчугского нац. ун-та,  
тел. (05366) 3-00-50  
E-mail seem@kdu.edu.ua



Шокарев  
Дмитрий Анатольевич,  
ст. преп. каф. «СЕЕМ»  
Кременчугского нац. ун-  
та, тел. (05366) 3-00-50  
E-mail seem@kdu.edu.ua



Скапа  
Евгений Иванович,  
аспирант каф. «СЕМ»  
Кременчугского нац. ун-  
та, тел. (05366) 3-00-50  
E-mail seem@kdu.edu.ua



Синчук  
Игорь Олегович,  
к.т.н., доц. каф. Элект-  
ропотребления и ресур-  
созбережения Криво-  
рожского нац. ун-та,  
тел. 067-465-55-54  
E-mail EE@rambler.ru