

3. К.П. Станюкович. - Неустановившиеся движения сплошной среды. М., 1978 - С. 421-430.

УДК 622.33; 622.82; 622.272; 631.41

## СОВМЕСТНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УГЛЕЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ПРОМЫШЛЕННОГО ЭНЕРГОПАРКА

**С.В. Тарасов**, кандидат технических наук, заведующий отделом технической механики и энергетических систем

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [tsv@westa-inter.com](mailto:tsv@westa-inter.com)

**А.А. Буряк**, научный сотрудник отдела сверхпроводящ. магнитных систем

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [alexander.buryak@gmail.com](mailto:alexander.buryak@gmail.com)

**В.Ю. Скосарь**, кандидат физико-математических наук, ст. научный сотрудник отдела электротехнических комплексов транспортных средств

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [svu@westa-inter.com](mailto:svu@westa-inter.com)

**Аннотация.** Предложено направление в решении задач энергообеспечения и энергосбережения путем создания автономных промышленных энергопарков вблизи угольных месторождений. В энергопарк интегрированы углеэнергетическое предприятие и товаропроизводящие заводы, управление энергопарком осуществляется за счет «Smart Grid».

*Ключевые слова:* энергообеспечение, энергосбережение, автономный промышленный энергопарк, углеэнергетическое предприятие, аккумуляторный завод, Smart Grid.

## AN COMBINED FUNCTIONING OF THE COAL-BASED ENERGY PLANT AND THE INDUSTRIAL ENERGY PARK

**S. Tarasov**, Candidate of technical Science, Head of the Department of Technical Mechanics and Energy Systems

Institute of Transport System and Technologies NAS of Ukraine "Transmag", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [tsv@westa-inter.com](mailto:tsv@westa-inter.com)

**A. Buryak**, Scientific Researcher of Department of Superconducting Magnetic Systems

Institute of Transport System and Technologies NAS of Ukraine "Transmag", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [alexander.buryak@gmail.com](mailto:alexander.buryak@gmail.com)

**V. Skosar**, Candidate of physical-mathematical Science, Scientific Researcher of electrotechnical complexes means of transport

Institute of Transport System and Technologies NAS of Ukraine "Transmag", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [svu@westa-inter.com](mailto:svu@westa-inter.com)

**Abstract.** A solution to the energy-supply and energy-saving problems is proposed based on the creation of the autonomous industrial energy parks near coal deposit fields. The energy park integrates the coal-based power plants and manufacturing plants, and is managed based on the «Smart Grid» system.

*Keywords: energy-supply and energy-saving problems, autonomous industrial energy park, coal energy concern, accumulator works, Smart Grid.*

**Введение.** Учитывая, что обеспеченность мировой экономики запасами угля значительно больше, чем по нефти и газу, то перспективным направлением в решении задачи энергообеспечения может быть создание углеэнергетических предприятий высокого технологического уровня. Такие предприятия способны также внести существенный вклад в решение задач ресурсо- и энергосбережения (комплексного использования угля, углепластового метана, серы и др.), способны минимизировать загрязнение окружающей среды в процессе производства электроэнергии (э/э) [1]. Для Украины это – первоочередные задачи. В углеэнергетических предприятиях добыча и переработка угля, а также выработка э/э локализованы в одном месте и рационально объединены. Это позволяет повысить интегральный КПД (от извлечения угля до выработки э/э) по сравнению с тем интегральным КПД, который реально задавался цепью отдельных операций на отдельных предприятиях: угледобычи, переработки угля, транспортировки угля, производства э/э. Опытно-промышленные установки первых углеэнергетических предприятий были реализованы в США [1, 2]. Для нас может представлять интерес проект «Вэбэш Ривер» (Wabash River) в штате Индиана (США), углеэнергетическое предприятие, ориентированное на переработку высокосернистого угля за счет его газификации. Побочными продуктами являются жидкая сера и угольный шлак. КПД достигает 50%, выбросы сернистого газа уменьшаются на 99%, оксидов азота – на 95% по сравнению с обычной ТЭС [1].

Другим важным мировым направлением решения задач энергообеспечения и энергосбережения являются разработки в области энергетики, объединяемые общим термином «Smart Grid», причем некоторые проекты обсуждаются в Украине. Интеллектуальная сеть «Smart Grid» есть система подключённых к генерирующим источникам э/э и потребляющим электроустановкам различных программно-аппаратных средств, информационно-аналитических и управляющих подсистем с целью обеспечения надёжной передачи э/э от источника к потребителю в нужное время, в необходимом количестве и качестве. Преимущества «Smart Grid»: существенное

уменьшение потерь при передаче э/э от генератора к потребителю, увеличение надежности энергоснабжения, расширение возможности оптимально перераспределять энергетические потоки, уменьшая пиковые нагрузки, а также появление возможности потребителю интерактивно работать на рынке э/э, выбирая среди генерирующих компаний. Важным преимуществом умной сети является и то, что она может интегрировать в себя возобновляемые источники энергии (ВИЭ), которыми сложно управлять, поскольку они зависят от силы ветра, яркости солнца и др. факторов [3, 4]. Конкретным полем применения системы «Smart Grid» может стать разработка наших специалистов - промышленный энергопарк, включающий силовую подстанцию, группу ВИЭ и аккумуляторный завод [5].

И третье. Угольная промышленность во многих странах, в том числе, в Украине вынуждена применять меры на закрытых и закрывающихся шахтах для обеспечения охраны окружающей среды, извлечения запасов полезных ископаемых (например, метана) инновационными способами, а также вводить совокупность экономических и социальных мер на депрессивной территории – post-mining. Новым научным вкладом можно считать разработку концепции предупреждения всех перечисленных проблем горнодобывающей промышленности, которую предложено обозначить понятием synchro-mining. В случае synchro-mining речь идет об активных инженерно-технических, экономических и социальных мероприятиях в зоне угольных разработок и всей окружающей территории еще на стадии проектирования и начала эксплуатации месторождений, и вплоть до их закрытия. К инженерно-техническим мероприятиям, известным по мировому опыту эксплуатации старых шахт, можно отнести: подземную газификацию угля, очистку и обессоливание шахтных вод для их дальнейшего использования, создание тепличных комплексов и пр. [6, 7].

Представляется актуальным такое направление решения задач энергообеспечения и энергосбережения, которое включает передовые достижения: создание углеэнергетических предприятий; применение «Smart Grid» в промышленных энергопарках; проведение мероприятий synchro-mining.

**Цель работы.** Предложить решение задач энергообеспечения и энергосбережения на пути совмещения передовых достижений в области углеэнергетических предприятий; управления потоками ресурсов и энергии за счет внедрения интеллектуальной сети; проведения мероприятий synchro-mining.

**Материал и результаты исследований.** Нами предлагается следующее решение: интегрирование углеэнергетического предприятия с товаропроизводящими заводами, которые за счет этого будут обеспечены э/э

и продуктами переработки угля. Указанный интегрированный комплекс станет автономным промышленным энергопарком, который не только обеспечит э/э интегрированные в него заводы, но и будет способен производить э/э для внешних потребителей. Энергопроизводящим предприятием должно стать предприятие по типу «Вэбэш Ривер» мощностью 265 МВт, способного ежесуточно перерабатывать 2544 тонн сернистых углей Донецкого бассейна Украины (и РФ), или бурых углей с большим количеством серы и золы Днепровского бассейна Украины (и Подмосковского бассейна РФ). Товаропроизводящим предприятием можно считать аккумуляторный завод мощностью 7 млн. свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в год (19178 штук в сутки), потребляющий порядка 12 МВт (как, например, аккумуляторное производство МНПК «ВЕСТА», г. Днепропетровск). Другим товаропроизводящим предприятием можно предложить завод по изготовлению строительных материалов из угольного шлака. На углеэнергетическом предприятии добывают уголь, газифицируют его, топливный газ сжигают в газовой турбине, полученный пар высокого давления подают на паровые турбины, на электрогенераторах вырабатывают э/э, которую подают во внешнюю электросеть и на аккумуляторный завод (а также на завод строительных материалов). Аккумуляторный завод интегрирован с углеэнергетическим предприятием в единый комплекс. ВИЭ, как дополнительные энергоисточники, функционально разделены на две группы: первая группа расположена на территории энергопарка и включает преимущественно солнечные коллекторы, тепловые насосы и солнечные батареи; вторая группа в виде ветроустановок поставлена по территории отвалов угольных пород и шлаков и дополнительно выполняет ветрозащитную функцию, уменьшая интенсивность разноса пылевых фракций и уменьшая эрозию отвалов. Углеэнергетическое предприятие и товаропроизводящие заводы соединены каналами массопереноса, по которым транспортируются серная кислота для заводов, а также топливный газ и горячий пар. Система управления автономным промышленным энергопарком должна быть исполнена в виде «Smart Grid», и включать специализированные датчики (температуры, давления, расхода и пр.), встроенные в соответствующие узлы энергопарка и соединенные с центральным процессором, который оценивает текущую информацию и подает управляющие команды узлам энергопарка, регулируя энергетические и материальные потоки внутри энергопарка. На рис. представлена схема автономного промышленного энергопарка. Добытый уголь 1 поступает на углеэнергетическое предприятие 2, где проводится его газификация, с выработкой э/э и получением серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) и угольного шлака. Основная часть э/э подается в региональную энергосеть, а часть э/э, топлив-

ного газа и горячего пара подаются на аккумуляторный завод 3. Угольный шлак может быть направлен на завод строительных материалов (на рис. 1 не обозначен). В состав энергопарка также входят ВИЭ, изображенные в виде солнечных батарей и ветроустановок (ВЭУ), размещенных на территории отвалов 4.

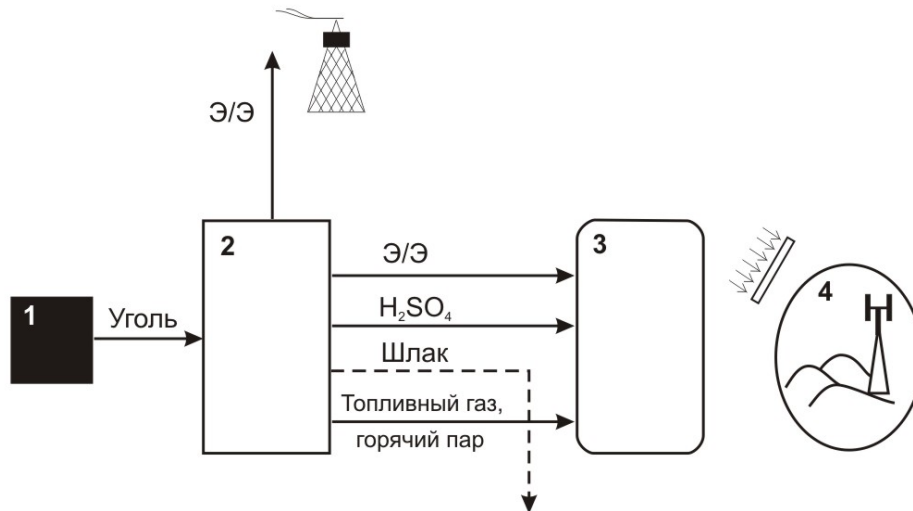


Рис. 1 – Схема автономного промышленного энергопарка

Можно говорить о двух вариантах автономного промышленного энергопарка: 1) углеэнергетическое предприятие вырабатывает э/э с избытком, и этот избыток передает во внешнюю электросеть; 2) добыча угля и производство э/э ограничены и рассчитаны только на внутренних потребителей – товарпроизводящие предприятия энергопарка и жилой массив для работников. Второй вариант интересен тем, что отсутствуют потери э/э, неизбежные при передаче на большие расстояния, а также тем, что добычу угля можно вести низкими темпами, например, на малых шахтах и бедных месторождениях. Электрогенераторы, вырабатывающие э/э, разделены на две группы: высоковольтную, для отдачи э/э в региональную энергосеть через ЛЭП; низковольтную, для снабжения э/э товарпроизводящих предприятий (и жилого массива). В нашей разработке предлагается некоторое количество топливного газа, вырабатываемого на углеэнергетическом предприятии, подавать на аккумуляторный завод, где газ используется в котлах литейного цеха и на сборочных линиях для сварки токоведущих деталей аккумуляторов. Часть горячего пара, вырабатываемого на углеэнергетическом предприятии, можно подавать для целей отопления товарпроизводящим предприятиям энергопарка и жилому массиву.

Применение ВЭУ в комплексах, которые полностью обеспечивают себя э/э, оправдано тем, что ВЭУ создают сопутствующие полезные эффекты, которые трудно или нерентабельно получить другими техническими средствами. Речь идет о ветрозащитной функции. Рациональнее использовать

вертикально-осевые ВЭУ малой (до 30 кВт) и средней (30-500 кВт) мощности для выработки э/э прямо на территории отвалов и рекультивируемых земель, чтобы э/э на месте использовать для проведения работ по рекультивации территории [8]. Поскольку, например, для Донбасса мы имеем проблему наличия огромных территорий отвалов, то планомерная рекультивация этих земель и обеспечение соответствующих работ э/э являются актуальными, как для закрытых шахт, так и для действующих шахт. Относительно небольшие ВЭУ не требуют особых мер для создания фундамента под их опорами и укрепления грунта, а вертикально-осевая их конструкция позволит лучше всего улавливать ускоренные турбулентные потоки ветра в условиях холмистого рельефа отвалов. Схему рациональной расстановки ВЭУ можно разработать, учитывая конкретику рельефа. Аэродинамическое обоснование уменьшения темпов ветровой эрозии отвалов состоит в том, что ВЭУ на территориях отвалов будут создавать аэродинамически теневую зону, поскольку порядка 50% мощности ветрового потока, проходящего через ротор, отбирается каждой ВЭУ. А так как опоры у ВЭУ малой и средней мощности имеют, как правило, высоты не более 40 м, то заметно снизится скорость ветра и у поверхности земли [8]. Наши соображения насчет эффективного снижения мощности ветрового потока за счет размещения ВЭУ недавно получили обоснованное подтверждение. Работами ученых Стэнфордского университета (США) установлено, что ряды и поля ВЭУ способны эффективно гасить зарождающиеся ураганы. На имитационной математической модели ими доказана достаточно высокая степень влияния работы полей ВЭУ как на распространение приземных воздушных потоков, так и на формирование крупномасштабных воздушных вихрей. Эффективность торможения потоков определяется тем, что ВЭУ являются для них не просто препятствиями, а энергопоглотителями, так что воздушные массы теряют мощность как раз в слоях энергетической подпитки свободных вихрей [9].

ВИЭ в составе энергопарка могут быть размещены следующим образом: солнечные батареи – в основном, на крышах корпусов; солнечные коллекторы – вблизи освещенных солнцем боковых стен корпусов и зданий жилого массива; тепловые насосы – вблизи мест вывода бросового тепла из производственных помещений. Э/э, вырабатываемая солнечными батареями, будет обеспечивать работу автопарка внутренних транспортных средств (электрокар, электропогрузчиков) на свинцово-кислотных тяговых батареях, которые будут заряжаться на станциях подзарядки аккумуляторов. Солнечные коллекторы и тепловые насосы будут включены в контур теплоснабжения производственных корпусов и жилых зданий. Сумма энергетических поступлений от всех ВИЭ в нашем примере может

реально достичь доли 7-10% от общего поступления энергии для товаро-производящих предприятий энергопарка. Но этот сектор комплекса привлекает своей открытой долгосрочной перспективой с тенденцией к быстрому увеличению.

Наша разработка предусматривает использование ряда побочных продуктов углеэнергетического предприятия, в первую очередь, серы. Причем серу не нужно транспортировать на большие расстояния, как в проекте «Вэбэш Ривер». Мы предлагаем синтезировать из серы топливного газа серную кислоту для аккумуляторного завода непосредственно в пределах комплекса. Сера в топливном газе содержится преимущественно в виде сероводорода ( $H_2S$ ), в отличие от дымовых газов, получаемых при обычном сжигании угля, где сера окислена до сернистого газа. В нашем предложении получение серной кислоты сводится к улавливанию сероводорода из топливного газа аминными способами абсорбции, например, с помощью раствора моноэтаноламина. При аминных способах очистки раствор абсорбента в поглотителях связывает сероводород из топливного газа путем образования нестабильного соединения с  $H_2S$ , а при последующей десорбции (при нагреве)  $H_2S$  освобождается за счет разложения нестабильного соединения в десорберах. Таким образом, из десорберов выделяется  $H_2S$  и регенерированный раствор абсорбента, например, моноэтаноламина [10]. Далее производится синтез серной кислоты из сероводорода известным методом «мокрого катализа». На первом этапе синтеза сероводород окисляют в потоке воздуха с образованием стехиометрической смеси  $SO_2$  и  $H_2O$ , на втором этапе на ванадиевых катализаторах (на основе  $V_2O_5$ ) окисляют  $SO_2$  до  $SO_3$ , после чего на третьем этапе проводят конденсацию паров воды с  $SO_3$ , в результате чего образуется серная кислота [11]:



В нашей разработке возникает необходимость в управлении энергетическими и материальными потоками, а также в синхронизации множества взаимозависимых процессов. Система «Smart Grid», адаптированная под указанную задачу, будет наилучшим решением. Это позволит превратить углеэнергетическое предприятие и товаропроизводящие заводы в гибкую производственно-энергетическую структуру с общей системой мониторинга и управления, с устойчивостью к отказам.

Проведем предварительную оценку целесообразности создания автономного промышленного энергопарка. В качестве примера возьмем за основу свойства углей Донецкого бассейна с 3% серы [12]. При переработке тонны угля будет выделено 30 кг серы, из которой получено ок. 90 кг серной кислоты (100%). Для изготовления одной свинцово-кислотной ба-



тарей типа 6СТ-60А3 с электролитом необходимо потратить 1,925 кг серной кислоты. Углеэнергетическое предприятие перерабатывает ежедневно 2544 т угля. Полученной серной кислоты хватает на производство свыше 114 тыс. батарей в сутки, что на порядок превосходит мощность аккумуляторного завода. Очевидно, что серной кислоты, полученной из угля, с избытком хватает для аккумуляторного производства. Вырабатываемой э/э (265 МВт) с избытком больше, чем требуется аккумуляторному заводу (12 МВт), так что львиную долю электроэнергии можно отдавать в региональную энергосеть.

**Вывод.** Авторами предложен путь решения задач энергообеспечения, ресурсо- и энергосбережения за счет создания автономных промышленных энергопарков в районах угольных месторождений. В энергопарк интегрируются углеэнергетическое предприятие и товаропроизводящие заводы, а также предусмотрено активное использование ВИЭ. Управление энергетическими и материальными потоками в энергопарке, синхронизация множества техпроцессов лучше всего могут быть обеспечены системой «Smart Grid», адаптированной под указанную задачу. В качестве примера предложен автономный промышленный энергопарк с углеэнергетическим предприятием на углях Донецкого бассейна Украины (или РФ), и включающий завод по производству свинцово-кислотных аккумуляторов, а также группу ВИЭ для проведения мероприятий, согласно synchro-mining. В перспективе планируется сосредоточить внимание на разработках в области эффективного использования ВЭУ на территории отвалов рудных месторождений, например, Кривбасса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Б.М. Уголь мира / Под общей редакцией Л.А.Пучкова. – М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во МГГУ, 2007. – Т.1: Глобальный аспект. – 309 с.
2. Перспективы развития угольной отрасли в мире / Сайт «Металлургический бюллетень РФ» [Электронный ресурс] // Режим доступа к публикации: <http://www.metalbulletin.ru/publications/2992/>
3. Перспективы развития технологии «smart grid» в Украине / Сайт «ЭлектроВести» [Электронный ресурс] // Режим доступа к публикации: [http://elektrovesti.net/16327\\_perspektivy-razvitiya-tekhnologii-smart-grid-v-ukraine](http://elektrovesti.net/16327_perspektivy-razvitiya-tekhnologii-smart-grid-v-ukraine)
4. Системы smart-grid: проблеми та актуальність для України. Presentation Transcript [Электронный ресурс] / Режим доступа к публикации: <http://www.slideshare.net/greencubator/smartgrid>
5. Пат. 99396 Україна, МПК (2012.01) H02J 9/00, 3/00; МПК (2006.01) H02J 3/28, F24D 3/08. Промисловий енергопарк і спосіб його експлуатації / Дзензерський В.О., Дзензерський Д.В., Тарасов С.В., Бурилов С.В., Буряк О.А.; Заявитель и патентообладатель Дзензерський В.О., Дзензерський Д.В., Тарасов С.В., Бурилов С.В. – № а 201107721; заявл. 20.06.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. – 12 с.: ил.



6. Пивняк Г.Г. Post mining: технологический аспект решения проблемы/ Г.Г. Пивняк, А.Н. Шашенко, П.И. Пилов, М.С. Пашкевич // Труды международного симпозиума „Неделя горняка - 2012“: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – М.: Горная книга. – 2012. – №0В1. – С. 20–31.

7. Півняк Г.Г. Synchro-mining: цивілізоване вирішення проблеми сталого функціонування гірничодобувних регіонів / Г.Г.Півняк, П.І.Пілов, М.С.Пашкевич, Д.О.Шашенко // Науковий вісник НГУ. – 2012. - №3. – С. 131-138.

8. С.В.Бурылов, В.А.Дзензерский, В.Ю.Скосарь, С.В.Тарасов. Применение ветроустановок и аккумуляторов для решения энергетических и экологических вопросов использования земных недр [Электронный ресурс] // Научный вестник Московского Государственного Горного Университета, 2013. - № 2 (35). - С. 64-71. – Режим доступа к журн.: <http://vestnik.msmu.ru/authors/author500.html#>

9. Ветряки могут защитить от ураганов / Раздел сайта «Технологии» [Электронный ресурс] // Режим доступа к публикации: <http://telegraf.com.ua/tehnologii/1153677-vetryaki-mogut-zashhitit-ot-uraganov-video.html>

10. Луговской С.А., Лаврентьев И.А., Савилов С.И., Балашов А.Л. Современные отечественные абсорбенты для аминной очистки технологических и природных газов [Электронный ресурс] / М/н форум «Топливо-энергетический комплекс: региональные аспекты», 8-11 апреля 2003, С-Пб // Режим доступа к публикации: [http://www.himsorbent.ru/res/site/pdf\\_docs/doklad20.pdf](http://www.himsorbent.ru/res/site/pdf_docs/doklad20.pdf)

11. Новые технологии BAYER получения серной кислоты [Электронный ресурс] / Аналитический портал химической промышленности. – Режим доступа к публикации: [http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=5442](http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=5442)

12. Голицын М.В. Мир солнечного камня: Сегодня и завтра ископаемого угля / М.В.Голицын, А.М.Голицын. – М.: Жизнь и мысль, 2010. – 224 с.

УДК 622.33; 622.82; 622.272; 631.41

## УГЛЕЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ И ПЕРЕРАБОТКА УГОЛЬНОГО ШЛАКА

**В.А. Дзензерский**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом сверхпроводящих магнитных систем, директор Института Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [itst@westa-inter.com](mailto:itst@westa-inter.com)

**А.А. Буряк**, научный сотрудник отдела сверхпроводящих магнитных систем Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [alexander.buryak@gmail.com](mailto:alexander.buryak@gmail.com)

**В.Ю. Скосарь**, кандидат физико-математических наук, ст. научный сотрудник отдела электротехнических комплексов транспортных средств Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [svu@westa-inter.com](mailto:svu@westa-inter.com)