

## НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 622.44:681.518.3

### СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**И. В. Брейдо, А. В. Сичкаренко, Е. С. Котов**

*Карагандинский государственный технический университет,  
100027, г. Караганда, Казахстан*

Разработаны требования и предложены принципы построения систем предаварийного, аварийного и поставарийного контроля технологической среды и режимов работы электрооборудования угольных шахт. Контролируемыми параметрами режимов работы электрооборудования являются: наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, целостность кабеля и несанкционированный доступ внутрь оборудования, а объектами контроля — пускатели и автоматы, распределяющие электроэнергию в пределах участка.

Параметры контроля технологической среды — это содержание газов, включая  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ ; изменение давления шахтной атмосферы; световой поток; звук; температура окружающей среды; ускорение и изменения положения корпуса центрального блока контроля.

Представлены основные технические решения по подсистемам обработки, хранения и считывания информации.

*Системы предаварийного, аварийного и поставарийного контроля, технологическая среда, режимы работы, электрооборудование угольных шахт, подсистемы обработки, хранения и считывания информации*

Увеличение добычи угля за счет внедрения мощной горнодобывающей техники и совершенствования технологии добычи, сопровождаемое увеличением газовой выделенности, предъявляет возрастающие требования к системам автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах. Выпускаемые в настоящее время в СНГ и дальнем зарубежье системы автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах обеспечивают контроль состояния и параметров шахтной атмосферы и технологического оборудования, обмен информацией с диспетчерским пунктом, обработку, отображение и хранение информации [1–3].

Системы позволяют достаточно эффективно контролировать оборудование и технологическую среду в штатных режимах эксплуатации. Однако в аварийных ситуациях их функционирование затруднено, а часто просто невозможно.

Так, авария на шахте “Ульяновская” в Кузбассе, где погибло 110 чел., произошла, несмотря на наличие одной из лучших в мире систем технологического контроля “Трансмиттон” (Великобритания), по причине нарушения правил эксплуатации оборудования.

Несмотря на то что современные датчики контроля технологической среды шахты имеют автономное электропитание, в процессе аварий происходит физическое разрушение датчиков, основных аппаратов контроля и каналов передачи информации, включая кабельные линии связи. Из-за прекращения в момент аварии функционирования систем контроля безопасности в дальнейшем не удастся полностью воссоздать процесс ее развития. В результате расследование аварий осуществляется на основе их последствий и носит вероятностный характер, что не всегда позволяет сделать достоверные выводы.

Наличие объективного документированного аварийного и поставарийного контроля особенно актуально для угольных шахт, опасных по газу, пыли и внезапным выбросам.

Только в Казахстане в 2004 г. на шахте “Шахтинская”, в 2006 г. на шахте им. Ленина, в 2008 г. на шахте “Абайская” произошли три крупные аварии, в которых погибло более 90 чел. Аналогичные проблемы существуют и в других странах: в России в 2007 г. при авариях на шахтах “Ульяновская” и “Юбилейная” погибло более 140 чел.; на Украине на шахте им. Засядько в Донецке в результате трех взрывов в период с 18 ноября по 2 декабря 2007 г. погибли 106 чел.; в Китае от взрывов метановоздушной смеси ежегодно гибнут тысячи шахтеров.

Создание системы предаварийного и поставарийного контроля (СПАК) технологической среды и режимов работы электрооборудования по образу и подобию авиационных “черных ящиков” направлено на уменьшение аварийности на угольных шахтах. Основное назначение СПАК — получение, регистрация, хранение информационных параметров технологической среды как до возникновения аварийной ситуации, так и во время аварии, и что принципиально важно — после нее. Это позволит при анализе причин аварии обладать информацией, которая ранее не была доступна.

На основе проведенного анализа и опыта участия авторов в расследованиях аварий на угольных шахтах определены следующие основные принципы функционирования и требования к подобным системам [4]:

— постоянный контроль параметров и фиксация событий, характеризующих нештатные ситуации в электрооборудовании и технологической среде в пределах участка, в нормальных, предаварийных, аварийных и поставарийных ситуациях;

— длительный срок хранения информации после аварии при функционировании в автономных режимах;

— высокое быстродействие в предаварийных, аварийных и поставарийных ситуациях;

— встроенные в пускатели устройства для передачи текущих параметров состояния электрооборудования;

— использование низковольтной сети в пределах одной подстанции для передачи информации в центральный блок СПАК в штатных и предаварийных режимах работы;

— автоматический переход на резервное питание от аккумуляторов для обеспечения автономной работы при отключении питающей сети с подзарядом в нормальных режимах работы оборудования;

— расположение соответствующих датчиков на торцах корпуса центрального блока контроля (ЦБК) СПАК, вдоль линии возможного распространения ударной волны для достоверного определения направления фронта ударной волны по сигналам давления, звука и света;

— дистанционный съем информации для текущего обслуживания системы;

— датчики по возможности должны быть встроены во взрывозащищенный корпус ЦБК;

- размещение ЦБК СПАК в наиболее опасных зонах участка в районе сопряжения лавы с вентиляционным и откаточным штреками (для одной лавы достаточно 2 блоков ЦБК);
- наличие функции “радио-маячка” для поиска засыпанного углем при аварии ЦБК.

Блок-схема СПАК приведена на рис. 1. Система содержит ЦБК, блоки контроля электрооборудования (БКЭ), конструктивно расположенные в пускателях (ПВИ), датчики контроля шахтной атмосферы, а также канал передачи информации по низковольтной участковой сети электроснабжения.

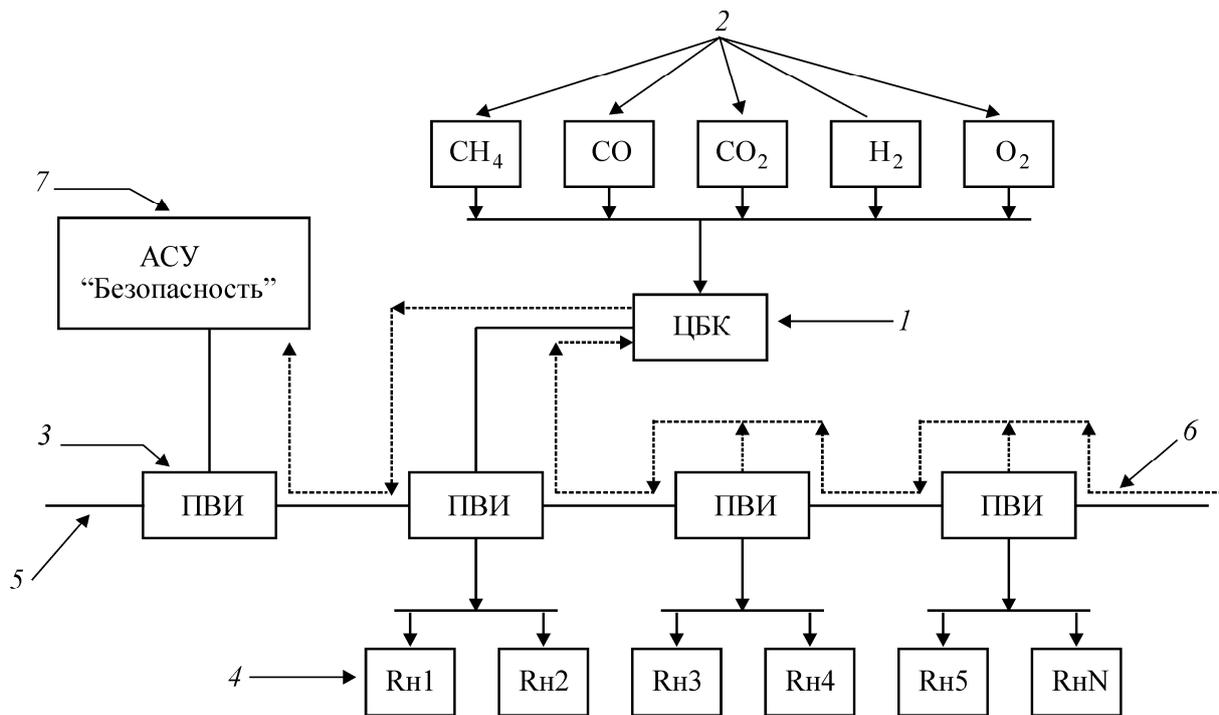


Рис. 1. Блок-схема СПАК: 1 — ЦБК; 2 — датчики контроля шахтной атмосферы; 3 — шахтные пускатели со встроенным блоком контроля электрооборудования; 4 — подключаемое шахтное оборудование; 5 — низковольтная питающая сеть; 6 — канал передачи данных по низковольтной питающей сети; 7 — существующая аппаратура газового контроля

Известно, что наиболее распространенной причиной взрывов на шахтах является недопустимая концентрация метана и наличие источников его воспламенения, включая неисправное электрооборудование, искрообразование при коммутации электрических аппаратов с открытыми, в нарушение правил эксплуатации, оболочками взрывозащищенного электрооборудования.

В системе одновременно контролируются режимы работы электрооборудования и параметры технологической среды [5]. Таким образом, состав СПАК включает в себя подсистемы контроля технологической среды, подсистемы контроля электрооборудования и подсистемы обработки и хранения информации.

Объектами подсистемы контроля режимов работы электрооборудования являются пускатели и автоматы, распределяющие электроэнергию в пределах участка, в которых размещаются БКЭ, контролируемые параметрами — наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, целостность кабеля и несанкционированный доступ внутрь оборудования.

Параметрами контроля технологической среды является содержание газов, включая  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ . Так как пожары, взрывы и внезапные выбросы сопровождаются повышением температуры, световой, звуковой и ударной волнами, то в системе предусмотрен контроль изменения давления шахтной атмосферы; контроль светового потока, преимущественно в инфракрасной области; акустический и температурный контроль; контроль ускорения и изменения положения корпуса ЦБК. ЦБК СПАК оборудован фиксатором несанкционированного доступа, информация о котором хранится в памяти. Датчики контроля технологической среды размещаются в конструктиве ЦБК или на его поверхности таким образом, чтобы все их линии связи находились внутри корпуса.

Информация, поступающая с датчиков состояния шахтной атмосферы, обрабатывается в процессорной части ЦБК и запоминается. Учитывая достаточно большой объем накапливаемой информации, возникающий из требований оперативности контроля, применяются алгоритмы обработки информации, в которых запоминание производится только при изменении предшествующих данных, организована также циклическая замена данных с циклом 1 ч.

В нормальных штатных режимах текущие параметры контроля электрооборудования обрабатываются в БКЭ, а также передаются в ЦБК по линии электроснабжения, питающей СПАК.

В штатном режиме фиксируется любое событие, связанное как с коммутацией оборудования, появлением или исчезновением напряжения или вскрытия оболочки пускателей, так и с любым изменением параметров шахтной атмосферы, отличным от последнего измерения.

Под аварийным состоянием электрооборудования подразумевается:

- отключение напряжения по какому-либо каналу;
- подача электроэнергии при открытой оболочке автомата или пускателя;
- несанкционированный доступ во взрывозащищенные оболочки.

При любом из перечисленных событий СПАК автоматически переключается в режим автономного питания от аккумуляторного источника и обеспечивает автономное функционирование ЦБК и БКЭ в течение нескольких суток с записью в энергонезависимую память.

В аналогичном автономном режиме СПАК должна функционировать в течение нескольких суток после аварии.

В аварийных режимах параметры технологической среды анализируются в ЦБК специальной программой на предмет определения наиболее вероятного направления и характера возникновения ударной волны, а также возможного источника искробразования.

Информация о состоянии режимов работы электрооборудования при авариях и после них обрабатывается и хранится в БКЭ. В случае превышения допустимых значений концентрации газов или при аварийных состояниях электрооборудования фиксируется время, текущие значения параметров и события с максимальным быстродействием. В данном режиме запись параметров осуществляется в энергонезависимую память путем циклической замены данных с циклом 1 ч.

Аналогичное изменение режима записи обеспечивается при возникновении ударной, световой, акустической волны, пламени или резком повышении температуры.

Очень важным является вопрос считывания информации, имеющейся в запоминающем устройстве ЦБК. Для того чтобы конструкция СПАК могла выдержать последствия взрыва метано-воздушной смеси в аварийном режиме, а также воздействия пламени в случае возникновения пожара, его оболочка должна быть выполнена с соответствующим уровнем защиты от внешних механических воздействий, т. е. иметь высокую механическую прочность. Такая конструкция значительно затрудняет съем накопленной СПАК информации, поэтому предусмот-

рен беспроводный локальный канал обмена информацией с процессорной частью непосредственно через металлический корпус блока. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет индукционный канал связи с использованием магнитной компоненты электромагнитного поля [6], позволяющий не только дистанционно передавать информационные сигналы через оболочку устройства, но и осуществлять передачу информации, даже если устройство будет завалено после аварии углем, в отличие от оптического канала. Таким образом выполняется функция “радио-маячка” при поиске самого устройства после аварии.

В нормальных технологических режимах добычи угля используется эта же технология съема информации, позволяющая периодически проверять состояние памяти СПАК с целью анализа допущенных нарушений.

Рассмотрим подсистему контроля режимов работы электрооборудования [7] на примере электромагнитных пускателей, которые являются основными устройствами распределения электроэнергии в шахте.

Объекты контроля в пускателе — положение быстросъемной крышки, обеспечивающей доступ к аппаратуре контроля, крышка камеры ввода, наличие напряжений и состояние блок-контактов аппаратуры пускателя. Передача текущих параметров состояния электрооборудования типа ТС осуществляется в ЦБК СПАК по низковольтной цепи электропитания.

В штатных режимах фиксируется наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании. Для передачи телесигнализации о состоянии пускателей использован канал передачи по линии электроснабжения, питающей пускатели и СПАК.

Важный компонент СПАК представляет подсистема обработки и хранения информации [8], структурная схема которой изображена на рис. 2.

Рассмотрим более подробно принципы обработки и сохранения информации в ЦБК [9]. Подсистема производит сбор информации с различных аналоговых и дискретных датчиков, установленных как за пределами, так и внутри ЦБК (встроенных во взрывозащитный корпус). Причем все внутренние датчики продублированы на случай выхода основных датчиков из строя вследствие взрыва. Информация с датчиков через блок согласования и гальванической развязки поступает на вход центрального микроконтроллера dsPIC30F6012A. Центральный микроконтроллер выполняет проверку состояния сигналов на их предаварийные или аварийные значения, на изменения, произошедшие относительно предыдущих измерений, и в зависимости от этих данных принимает решение об их сохранении. Для сохранения информации используются два независимых блока хранения информации. Каждый блок находится под управлением микроконтроллера PIC18F4520. Сохранение информации происходит на FLASH-носителе информации в формате MMC (Multi Media Card). Обмен данными между каждым блоком хранения информации с центральным микроконтроллером осуществляется через интерфейс UART. Блок акселерометра (контроль ускорения) состоит из 2 типов акселерометров: один для регистрации слабых колебаний  $\pm 3g$ , а другой для регистрации ударных нагрузок  $\pm 100g$ . Для подключения плат расширения предусмотрен соответствующий порт, работающий через интерфейс SPI. Платы расширения предназначены, в первую очередь, для увеличения числа обрабатываемых аналоговых и дискретных входов. Для работы с периферийными модулями системы, а также для обмена информацией с “внешним миром” и настройкой подсистемы сбора и обработки информации используется второй интерфейс SPI, который с помощью высокоскоростного преобразователя SPI/RS422 и гальванической развязки может рабо-

тать сразу с несколькими удаленными устройствами в дуплексном режиме. Для обеспечения электро-искробезопасности цепь питания, так же как все интерфейсы, для подключения внешних датчиков имеет гальваническую развязку.

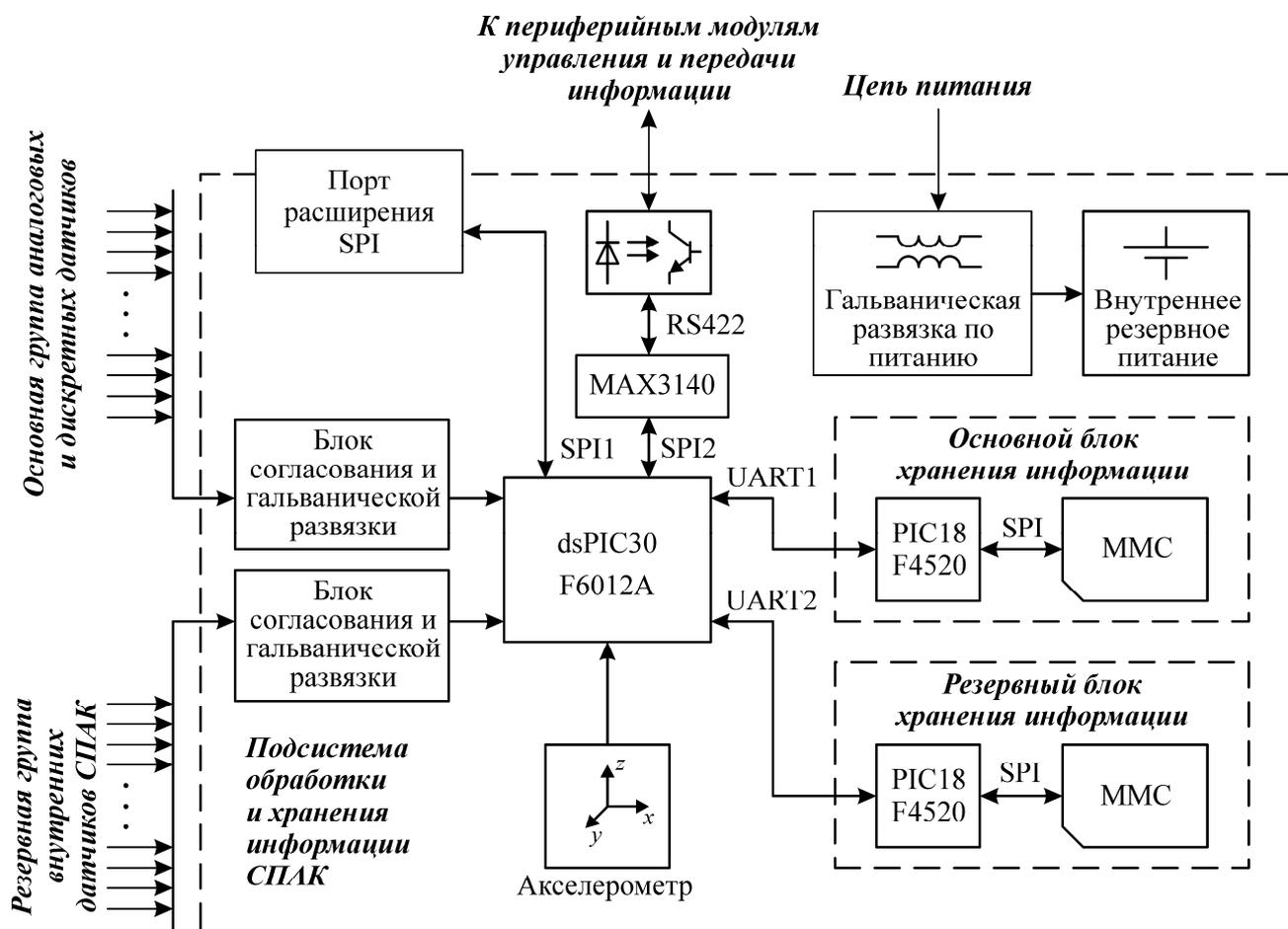


Рис. 2. Структурная схема подсистемы обработки и хранения информации СПАК

Во время стандартной работы устройства для обеспечения свободного места на FLASH-носителе данные с датчиков должны сохраняться с периодичностью один раз в 5 мин.

От известных в мировой практике систем аэрогазового контроля СПАК отличается по следующим позициям. В штатных и предаварийных режимах обеспечивается комплексный контроль состояния шахтной атмосферы и электрооборудования, причем контролируется не только наличие электроэнергии в участковом электрооборудовании, но и доступ во взрывозащищенные оболочки с передачей информации о состоянии пускателей и автоматов в пределах участка по низковольтной шахтной сети в ЦБК. В процессе развития аварии, кроме записи состояния шахтной атмосферы и электрооборудования, определяется возможное направление распространения фронта ударной волны по сигналам давления, звука и света. После аварии в течение нескольких суток обеспечивается контроль и запись состояния технологической среды, включая возникающие повторные взрывы и пожары. В СПАК предусмотрен беспроводный индукционный канал обмена информацией непосредственно через металлический корпус оболочки, который одновременно выполняет функции “радио-маячка” при поиске ЦБК, попавшего в завал после аварии.

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны основные требования и представлены характеристики СПАК, предназначенных для осуществления постоянного комплексного контроля за состоянием электрооборудования и предотвращения нарушений в его эксплуатации, что наряду с недопустимой концентрацией метана является основной причиной взрывов на шахтах.

2. В случае аварий система обеспечивает независимый документированный контроль и запись состояния технологической среды в аварийных и поставарийных ситуациях.

3. Представлены основные технические решения по подсистемам обработки, хранения и считывания информации.

4. В настоящее время разработаны, изготовлены и успешно прошли испытания лабораторные макетные образцы основных подсистем СПАК. Отработаны технические решения по бесконтактной дистанционной передаче информации через металлическую оболочку, передаче информации по низковольтной сети, разработано программное обеспечение для подсистемы сбора и передачи информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабенко А. Г.** Шахтные информационно-управляющие системы // Изв. вузов. Горн. журн. — 1999. — № 11–12.
2. **Пугачев Е. В., Червяков Е. В., Червяков А. Е.** Модель системы автоматического мониторинга, прогнозирования и управления аэрогазовым режимом на угольных шахтах // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т: под общ. ред. В. Н. Фрянова. — Новокузнецк, 2008.
3. **Лапин С. Э.** Экономическое обоснование применения автоматизированных систем аэрогазового контроля угольных шахт // Изв. вузов. Горн. журн. — Екатеринбург, 2002. — Т. 1.
4. **Брейдо И. В., Федорашко И. Н., Сичкаренко А. В.** Принципы построения автоматизированных систем поставарийного контроля угольных шахт // Научно-техническое обеспечение горного производства: тр. / ДГП Институт горного дела им. Д. А. Кунаева — Алматы, 2006. — Т. 71.
5. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В.** Режимы работы интеллектуальной системы пред- и поставарийного контроля угольных шахт // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ-21: тр. XXI Междунар. науч. конф. 27-31 мая 2008 г. — Саратов, 2008.
6. **Федорашко И. Н.** Дистанционное управление электротехническими комплексами // Автоматика-Информатика. КарГТУ. — Караганда, 2004. — № 1-2 (14-15).
7. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В.** Подсистема контроля режимов работы электрооборудования (СПАК) // Тр. XII Междунар. науч. конф. “Наука и образование — ведущий фактор стратегии “Казахстан-2030” (23-24 окт. 2010 г.). Вып. 2. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2009.
8. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В., Шпаков М. А.** Структура подсистемы обработки и хранения информации системы пред- и поставарийного контроля // Тр. Междунар. симп. “Информационно-коммуникационные технологии в промышленности, образовании и науке”, 28-29 окт. 2010 г. Ч. 1. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2010.
9. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В., Шпаков М. А.** Алгоритм сохранения информации в системе пред- и поставарийного контроля // Тр. XII Междунар. науч. конф. “Наука и образование — ведущий фактор стратегии “Казахстан-2030” (Сагиновские чтения № 3), 23-24 июня 2011 г. Ч. 3. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2011.