



Chaos and Correlation
International Journal, May 19, 2010

Моделирование и прогнозирование аварий на шахтах Кузбасса

Modeling and forecasting of accidents at mines of Kuzbass

Р. Шабает

R. Shabaev

Россия, Санкт-Петербург

Russia, S-Petersburg

Д. Арефьева

D. Aref'eva

Россия, Санкт-Петербург

Russia, S-Petersburg

В работе дан прогноз вероятных аварий на шахтах Кемеровской области в 2010-2011 года.

The paper presents a forecast of possible accidents in the mines of the Kemerovo region in 2010-2011 years.

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПЛАНЕТАРНЫЙ ЦИКЛ, СИНХРОНИЗМ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Key words: MODELLING, PLANET CYCLE, SYNCHRONISM, EXTREME SITUATION

Введение

В «Доктрине информационной безопасности» Российской Федерации, в «Федеральном законе о государственном прогнозировании» подчеркивается *необходимость совершенствования методов* оценки добываемых сведений и *прогнозирования* безопасности государства в различных сферах жизнедеятельности, что в свою очередь, требует существенных материальных и финансовых затрат, а также определенных организационных усилий. Однако принимаемые меры не приводят к существенному снижению аварийности и потерь от нее, что свидетельствует о низкой эффективности существующих подходов, направленных на предотвращение ЧС.

В работах /1-2/ было показано, что разнородные ситуации природного, технического, социально-экономического и иного характера подчиняются некоторым общим закономерностям и могут быть рассмотрены с точки http://chaosandcorrelation.org/Chaos/R5_2010.pdf

зрения единого системного подхода. Подход основан на учете информационного влияния циклической динамики природной среды (ЦДПС) — информационных воздействий циклов космической природы, проявляющихся с определенной периодичностью, и, позволяющих осуществлять кратко-, средне- и долгосрочное прогнозирование разнородных чрезвычайных ситуаций (ЧС). При этом наиболее результативным является адресное прогнозирование (АП) ЧС, когда предоставляется возможность моделировать не только факт их возникновения, но также указывать характер, конкретное время и место возникновения.

В этой связи, совершенствование методологии прогнозирования, в том числе в направлении учета естественных природных ритмов, необходимо и обосновано, а проведение исследований по разработке программного обеспечения (ПО) моделирования и прогнозирования на основе ЦДПС является актуальным и своевременным.

Целью данной работы является разработка модели аварий на шахтах Кузбасса на основе использования динамики природной среды, построение алгоритма для моделирования и прогнозирования аварий на конкретном объекте (шахте). Данный вопрос будет рассматриваться на примере анализа шахт «Ульяновская» и «Распадская».

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Определить перечень ритмозадающих факторов (РЗФ), моделирующих аварии на шахтах.
2. Произвести ранжировку РЗФ через категорию индексов напряженности (ИН).
3. Провести анализ базы данных аварий на шахтах на основе описательной статистики.
4. Разработать математическую модель аварий на шахтах, позволяющую составлять прогнозы среднесрочного и дальнесрочного плана.

5. Разработать модель прогнозирования аварий на шахтах, отличающейся от существующих с учетом наиболее значимых циклических факторов окружающей среды, влияющих на возникновение угроз в жизненном цикле разнородных систем с привязкой к географическим координатам (месту функционирования системы).

6. Составить прогноз вероятных аварий на шахтах Кемеровской области в 2010-2011 года.

Методы исследования: При разработке модели использовались математические и астрономические методы расчетов. Для обоснования влияния ритмов на биотехнические объекты использовались общие положения биоритмологии, концепция биологической синхронизации. Для обработки результатов – методы математической статистики.

1. Общая характеристика Кузбасского угольного региона

Кузнецкий угольный бассейн (Кузбасс) является одним из самых крупных угольных месторождений мира, расположен на юге Западной Сибири, в основном на территории Кемеровской области. В настоящее время наименование "Кузбасс" является вторым названием Кемеровской области. Кемеровская область расположена в умеренных широтах между $52^{\circ}08'$ и $56^{\circ}54'$ северной широты, и $84^{\circ}33'$ и $89^{\circ}28'$ восточной долготы.

В современных границах область была образована **26 января 1943** года. Административным центром области является город **Кемерово**. Расстояние до Москвы - 3482 км, разница во времени - +4 часа.

На долю **угольной промышленности** приходится 28 процентов от общего объема промышленного производства. Крупнейшими предприятиями по подземной добыче являются акционерное общество шахта "Распадская", шахта им. Кирова, шахта Капитальная. Открытый способ обладает более высокой производительностью и низкой себестоимостью. Крупнейшими разрезами бассейна являются "Черниговец", "Красногорский", имени 50 лет Октября, "Сибиргинский", "Междуречье" и "Кедровский". С 1952 года в

бассейне применяется гидравлический способ выемки угля. Шахты "Тырганская", "Юбилейная" и "Есаульская" - ведущие предприятия гидродобычи.

Традиционно **шахтой** называется предприятие по подземной добыче каменного угля или горючих сланцев. При добыче подземным способом руды шахту называют рудник.

Срок службы шахт, отрабатывающих мощные месторождения, достигает 50-70 лет и более. Глубина отдельных шахт по добыче золота и алмазов достигает 4 километров.

В равнинной местности чаще всего вскрытие производится вертикальными стволами, реже — наклонными, от которых на разных горизонтах (этажах) проводятся квершлагги до встречи с залежью ископаемого. В гористой местности основные вскрывающие выработки — штольни.

К опасным по газу относятся шахты, в которых хотя бы в одной выработке был обнаружен метан. При проектировании шахт опасность по газу должна определяться на основании прогноза газообильности.

Наиболее опасные виды аварий:

- взрывы метана и угольной пыли,
- пожары,
- внезапные выбросы и суфлярные выделения метана.

Внезапные выбросы - это быстропротекающий процесс разрушения горного массива, сопровождающийся отбросом угля и усиленным газовыделением. Обычно внезапные выбросы появляются при глубине разработки 200-300 метров, с ростом интенсивности с увеличением глубины разработки, мощности и угла падения пласта.

Рудничные пожары - пожары возникающие непосредственно в горных выработках, массиве полезных ископаемых и отработанном пространстве.

По причинам возникновения, рудничные пожары подразделяются:

- эндогенные (самовозгорание);
- экзогенные (от внешнего источника).

Подземные рудничные пожары являются одной из наиболее опасных аварий в шахте. Их особенностью является плохая доступность для активного тушения непосредственным воздействием. Наличие за очагами пожаров, по ходу вентиляционной струи, высокой температуры, дыма и других продуктов горения не позволяет организовать тушение горячей выработки с двух сторон. Под действием огня выходит из строя и теряет свою несущую способность крепь горной выработки, что приводит к обрушению пород кровли, ещё больше осложняющему аварию.

В качестве материала для анализа адресного прогнозирования взято две самые современные и крупные шахты – «Ульяновская» и «Распадская».

2. Современные методы мониторинга и прогнозирования аварий на шахтах

Несмотря на многообразные исследования, пока нет эффективных методов прогноза и борьбы с внезапными выбросами метана в угольных шахтах. Нет и программ создания комплексных научных основ для познания и предотвращения этих явлений.

Можно выделить ряд направлений исследования в данной области:

- Прогнозирование устойчивости горных выработок;
- Исследования академика Скочинского А.А. в области рудничной аэрологии
- Горностатический метод прогноза метанообильности;
- Исследования, в которых метан используют в качестве индикатора геомеханических процессов изменения свойств и состояний горных пород;
- Исследования фильтрации газа через породистую среду с использованием численных методов Годунова.

Катастрофические явления в угольных шахтах пока, к сожалению, непредсказуемы. Не все, что происходит, предусмотрено «Правилами безопасности» и теми научными обоснованиями, на базе которых они составлены. Это объясняется сложностью и многосторонностью проблем, общим состоянием горных наук, а именно, ограниченностью научных подходов, в результате которых горные науки оказались оторванными от современных достижений геологии, геофизики, геохимии, сейсмологии, современных методов и приборов, методик мониторинга, картирования и прогноза.

Проблема выбросов и взрывов метана в шахтах, несмотря на столетнюю историю изучения, является нерешенной научной проблемой. В результате этого аварии в шахтах представляются внезапными и непознанными природными явлениями, а меры их предотвращения не имеют под собой современной научной основы, соответствующей изменившимся экономическим обстоятельствам и горно-геологическим условиям.

В силу вышеуказанных причин, количество аварий и человеческих жертв на шахтах не уменьшается.

Объектом нашего исследования является создание математической и циклической модели прогнозирования аварий на отдельных шахтах Кузбасса. Для прогнозирования аварий на шахтах можно предложить следующий алгоритм построения прогнозной модели:

1. Построение динамического ряда на основе имеющейся базы данных 140 аварий на шахтах с 1992 по 2009 год.
2. Выявление тренда, наилучшим образом аппроксимирующего фактические данные. Существенным моментом при этом является предложение использовать решение задачи регрессии для полиномов разной степени, что позволяет определить тренд, соответствующий наименьшей ошибке прогнозной модели, т.е. точности решения задачи регрессии.
3. Анализ сезонной составляющей.

4. Построение гистограммы для определения распределения, проверка гипотезы о распределения для случайных воздействий.

5. Построение модели прогнозирования: $F = T + S \pm E$, где: F – прогнозируемое значение; T – тренд; S – сезонная компонента; E – случайные внешние воздействия.

6. Расчет доверительного интервала для полученных регрессионных соотношений (трендов) и экстраполяция.

Анализ динамического ряда показывает, что средний коэффициент роста приблизительно равен 1, а средний коэффициент прироста стремится к нулю. Это свидетельствует о слабой интенсивности развития явления во времени, т.е. нет выраженной основной долговременной тенденции развития. Уровни в основном колеблются около выборочного среднего значения с большим разбросом. Это лишь подтверждает выводы о том, что развитие во времени исследуемого явления носит не только детерминированный, но и случайный характер. По этому, как уже было отмечено ранее, целесообразно использовать аддитивную модель, которая учитывает основную закономерность ряда и случайные колебания.

Для определения основной закономерности развития явления перейдем к выявлению тренда, путем решения задачи регрессии.

Как уже было отмечено, тренд можно выявить 3 способами:

- методом укрупнения интервалов;
- методом скользящей средней;
- методом аналитического выравнивания.

Использование метода аналитического выравнивания позволяет получить следующую трендовую модель, которая отражает основную тенденцию развития исследуемого явления (рис. 2.1.).

Выявление основной закономерности сведено к решению задачи полиномиальной регрессии 4,5 и 6 порядков *методом наименьших квадратов*.

На выше приведенном рисунке столбцами обозначен динамический ряд, а кривые представляют решение задачи регрессии. Очевидно, что более точно отражает динамику развития явления тренд, полученный путем решения задачи линейной регрессии для полинома 6 порядка.

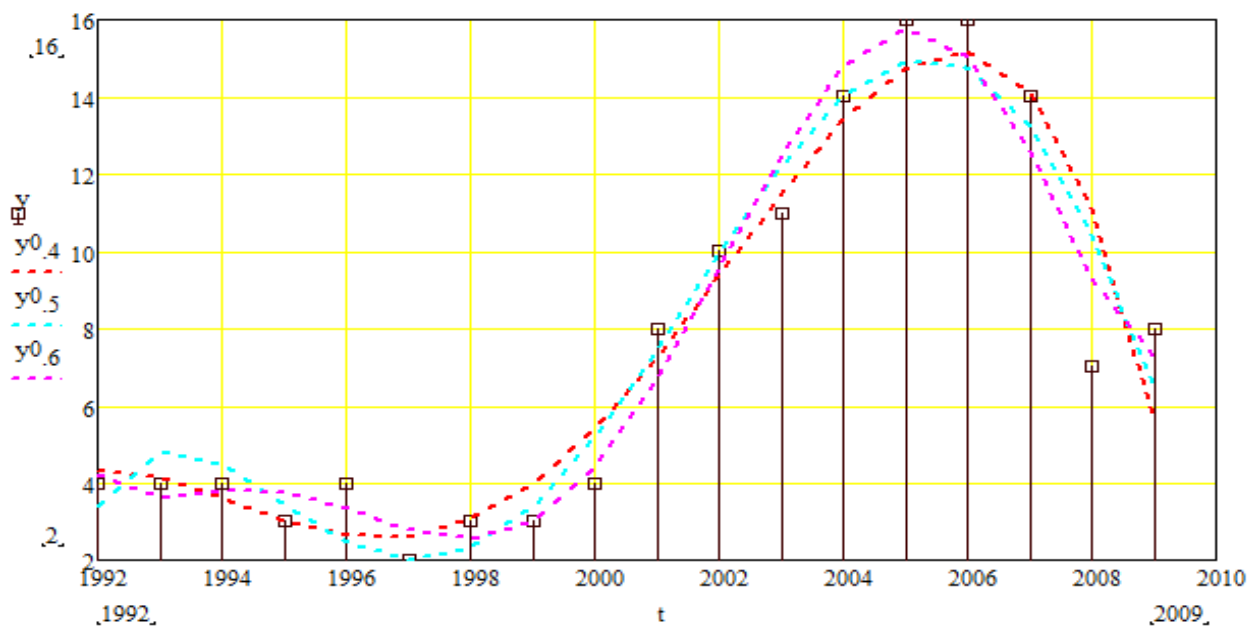


Рис.2.1. Динамический ряд аварий на шахтах Кемеровской области с 1992 по 2009 год: Y – количество аварий на шахтах Кемеровской области; Y_o – модель аварий на шахтах; t – время

Как было уже отмечено выше, для построения прогнозной прямой будет использована аддитивная модель. Т.е. к уже найденной основной закономерности развития явления, необходимо прибавить сезонную и случайную составляющие.

В большинстве случаев аварии на шахтах в январе, марте, июне и августе (закономерности сезонной составляющей, см. рис. 2.2).

На рис. 2.3. представлен итоговый прогноз количества аварий на шахтах Кузбасса с учетом доверительного интервала (вероятность 0.95).

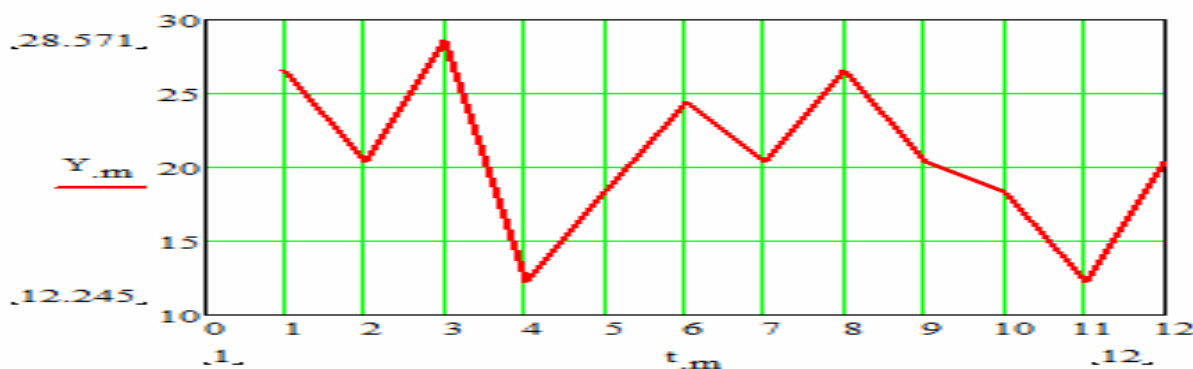


Рис.2.2. Анализ сезонной составляющей.

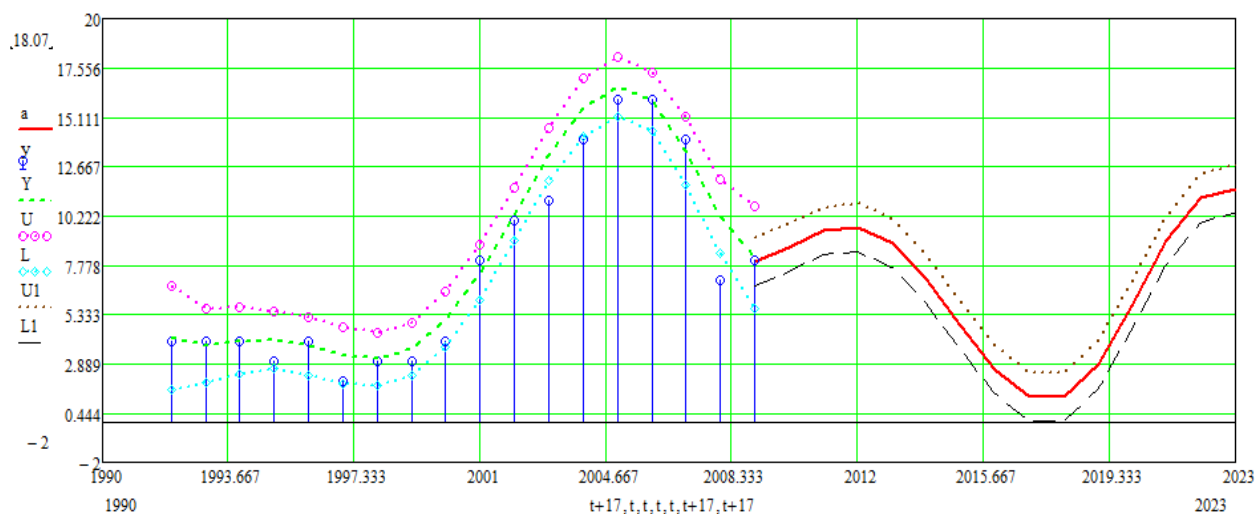


Рис. 2.3. Прогнозирование количества аварий, с учетом доверительных интервалов: a – прогнозируемая модель количества аварий на шахтах; $U1$ – верхний доверительный интервал прогнозируемой модели аварий на шахтах; $L1$ – нижний доверительный интервал прогнозируемой модели аварий на шахтах; Y – количество аварий на шахтах в период с 1992 по декабрь 2009 года; Y_o – модель аварий на шахтах U – верхний доверительный интервал аварий на шахтах; L – нижний доверительный интервал модели аварий на шахтах; t – период времени с января 1992 года по декабрь 2009 года; $t + 17$ – прогнозируемый период времени с января 2010 по июль 2027 года

На графике видно, что прогнозная кривая достигла своего пика в 2022 году. В этом году нижняя граница доверительного интервала пересекает отметку 11 аварий. Также можно учитывать пик 2010-11 годов, где ожидается 8 аварий, граница нижнего доверительного интервала 7 аварий. Это говорит о том, что, кроме 2010-11 гг. и 2022 года аварии на шахтах Кемеровской области возможны, но их кол-во в год минимально. Основное

внимание, как уже было отмечено, следует уделить 2022 году. Кол-во аварий может достигнуть более 11.. Итоговая трендовая модель вполне отражает тенденции, определяющие количество аварий на шахтах, и является основной для построения прогнозов высокого качества.

За последние 15 лет больше всего погибло горняков в Кемеровской области. По данным МЧС, только в период с 2001 по 2005 гг. на шахтах Кузбасса произошло 202 аварии. На основе графиков 2.1 и 2.2 можно сделать следующие выводы, что хоть в 2022 году и ожидается максимальное количество аварий на шахтах Кемеровской области, жертв будет мало или не будет вообще, то есть аварии этого года не повлекут за собой гибель шахтеров. В 2010-11 гг., наоборот, ожидается увеличение людских потерь (до 160 чел.), в то время как, количество аварий составит примерно 10. Также можно сказать, что в 2016 году может произойти всего одна-две аварии, но это будут достаточно крупные аварии, которые повлекут за собой более ста человеческих жертв.

3. Прогнозирование аварий на шахтах Кемеровской области на основе динамики природной среды

Известно, что реакция организма или системы на внешний раздражитель решающим образом зависит от той фазы ритмического цикла, в которой организм или система находится в данный момент времени. В данном случае под раздражителем понимается любое изменение РЗФ – индивидуальное или коллективное информационное проявление планет Солнечной системы, определяющее характер функционирования разнородных систем и структуру их жизненного цикла (ЖЦ). Следовательно, на основании обработки ретроспективных данных о состоянии системы на той или иной фазе ее ЖЦ, начиная с момента создания системы, и особенностей РЗФ (формируемых ими циклов), характеризующих данные состояния, можно прогнозировать поведение системы в любой момент времени.

Анализ базы данных велся на предмет выраженности фоновых и включенных планетарных циклов с целью адекватной индексации рядов динамики. На рисунке 3.1 представлен анализ выраженности фоновых циклов $ИН \geq 0.5$ в процентном соотношении.

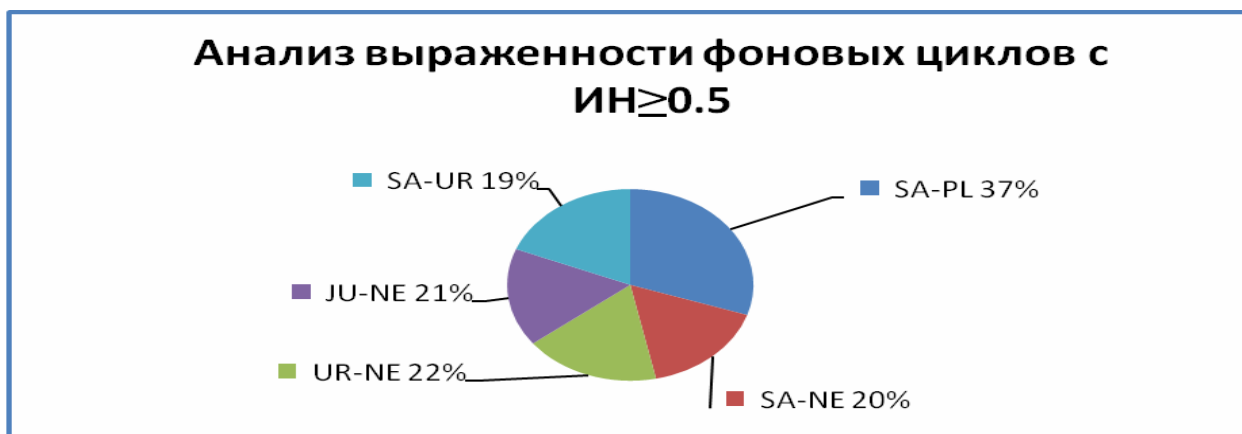


Рис. 3.1. Анализ выраженности фоновых циклов

На рисунке 3.2 представлен анализ выраженности включающих РЗФ $ИН \geq 0.5$ в процентном соотношении.

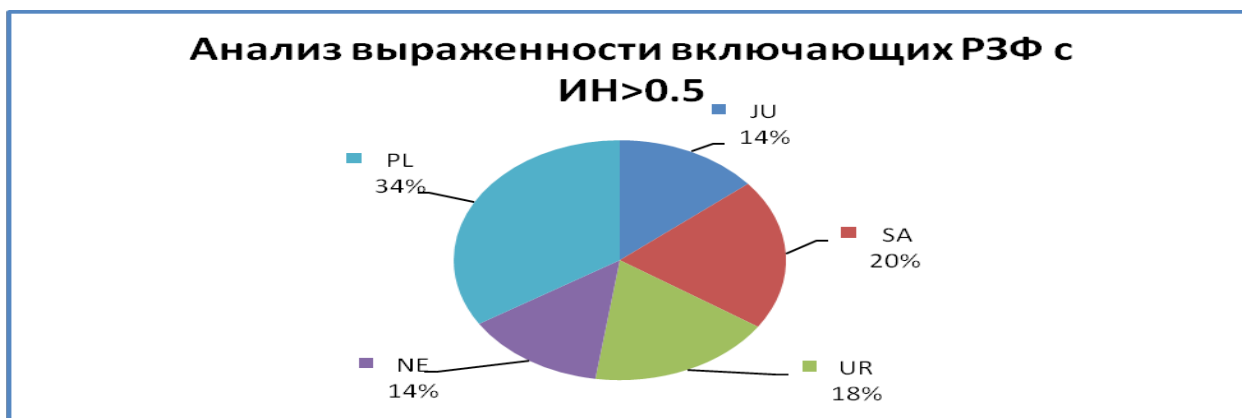


Рис. 3.2. Анализ выраженности включающих РЗФ с $ИН \geq 0.5$

Для решения задачи моделирования аварий в модели на основе ДПС, определения рядов динамики, решающее значение имеет ранжирование влияния РЗФ. В статистике для этих целей введено понятие «индекс». Ранжирование РЗФ может проводиться по различным параметрам (периодам http://chaosandcorrelation.org/Chaos/R5_2010.pdf

обращения, производимым эффектам и т.д.). В прогностике ЧС целесообразно использовать ранжировку РЗФ по производимым эффектам, для чего вводится понятие «индекс напряженности» (ИН) планетарного цикла. Числовые значения ИН по умолчанию определены исходя из длительности периодов обращения РЗФ. Величина ИН является показателем масштаба вероятных событий, уровня кризисов, которые может претерпевать анализируемая структура. Однако следует иметь в виду, что эксперт в ходе анализа обязан учитывать особенности реагирования конкретного объекта на внешние раздражители. Следовательно, необходимо проводить коррекцию уровней напряженности каждого цикла (фонового, включенного и транзитного). Составить абсолютно пригодную на все случаи жизни таблицу ИН для детального моделирования аварий вряд ли представляется возможным. Описательная статистика, на основе результатов которой составляется таблица ИН, усредняет значения чувствительных точек системы с остальными. Требуется уточнение таблиц ИН в соответствии с возможностями факторов природной среды на данный интервал времени.

Сущность составления таблицы ИН определилась именно вышеуказанными обстоятельствами: акцентированием конкретных циклов данного периода, способных моделировать аварии и акцентированием точек статической карты, которые будут включаться этими циклами.

Именно с указанными целями проведен анализ выраженности фоновых и включающих ранее образованных циклов РЗФ на рис. 3.1 и 3.2.

Следовательно, планетарно-циклическая модель аварий на шахтах может принять следующую форму:

$$\text{Авария на шахте} = (\text{SA+PL}) + \text{NE} + \text{UR}.$$

Данный алгоритм выражает решающее значение цикла **SA-PL**, фазы которого наступают каждые 8-9 лет, циклов Нептуна (метан) и циклов Урана, особенно с Сатурном, который вполне адекватно отражает информационную суть быстропротекающих процессов в земной коре.

Результаты моделирования аварий на шахтах Кузбасса на основе ДПС на период с 01.03.2007 по 31.03.2007 гг., когда произошла авария на шахте «Ульяновская», приведены на графике 3.3. Наступлением аварии является резонанс повышенного общего фона напряженности с одним из максимальных значений ИН системы.



Рис. 3.3. Моделирование аварий на шахтах Кузбасса (фоновая ситуация и включенная ситуация)

4. Система адресного прогнозирования

Адресное прогнозирование, в отличие от общего, предполагает рассмотрение параметров течения жизненного цикла конкретной системы (шахты, самолета и т.д.). Преимущества данного метода очевидны, поскольку модель прогнозирования сужается до уровня исследования конкретного объекта.

При прогнозировании аварийности системы с учётом влияния космических ритмов принимается ряд допущений:

- время и место создания объекта прогнозирования (ОП) влияет на его дальнейшее функционирование;
- за начальную точку (время) расчета карты объекта прогнозирования

принимается последовательность характерных событий в элементах системы "человек - техника - регион" (рождение, создание, начало эксплуатации, ввод в боевой состав, первая аварийная ситуация и др.);

- расчет опасных для применения технических средств регионов ведется с учетом геодезических координат (отсчет от Гринвичского меридиана по 30 градусов) и проекции циклов на Землю.

В качестве примера рассмотрим течение жизненного цикла шахты **«Ульяновская»**.

Шахта "Ульяновская" (координаты шахты 54N08, 87E18) считается одним из самых современных предприятий в угледобывающей отрасли страны. Она была введена в строй 7 октября 2002 г., причем местные власти приурочили это событие к 50-летию юбилею Владимира Путина.

Авария на шахте "Ульяновская" произошла 19 марта 2007 г. в 14:19 (ряд источников приводят и другие данные - 14:12 и 14:30) местного поясного времени (7:19 GMT). В этот момент под землей находились 203 человека, включая 20 человек руководства шахты. Около 14:30 система безопасности показала внезапный выброс большого количества метана и обрушение. Ударная волна от взрыва была настолько мощной, что угольную пыль буквально выбило из всех выходов шахты, причем над поверхностью она поднялась на несколько метров.

По расчетам горноспасателей, эпицентр взрыва находился на глубине 250 м, в 1,5 км от ствола шахты. Вслед за первым взрывом через 5-7 секунд последовало еще три-четыре взрыва, что вызвало обширные обвалы в выработках сразу в нескольких местах.

Учитывая, что праздничные мероприятия по открытию новых производств и предприятий проводят в период с 12:00 до 14:00, в качестве первого приближения к точному времени пуска шахты можно взять 12:00 местного времени или 5:00 GMT. Карта на этот период времени приведена на рис. 4.1.

В статической карте обращает на себя внимание 90 градусная фаза Меркурия-Марса с Сатурном (ME-MA 90 SA) и оппозиция Юпитера и Нептуна. Все конфигурации имеют орбис в пределах 4-5 градусов, что позволяет сделать вывод о наличии точки бифуркации в жизненном цикле системы в районе 4-5 лет от начала функционирования.

Основным событием в жизни шахты после введения в эксплуатацию является авария, произошедшая из-за выброса метана **19 марта 2007 года 7:19 GMT**, унесла жизни 107 человек (93 человека были выведены на поверхность). Таким образом, именно почти через 4.5 года шахта была выведена из строя. Характер функционирования шахты обострен резонансом основной конфигурации карты (ME-MA 90 SA) с циклом соединения Сатурна и Урана, которые включились на момент аварии транзитом Плутона, проецирующим на географическую долготу нахождения шахты

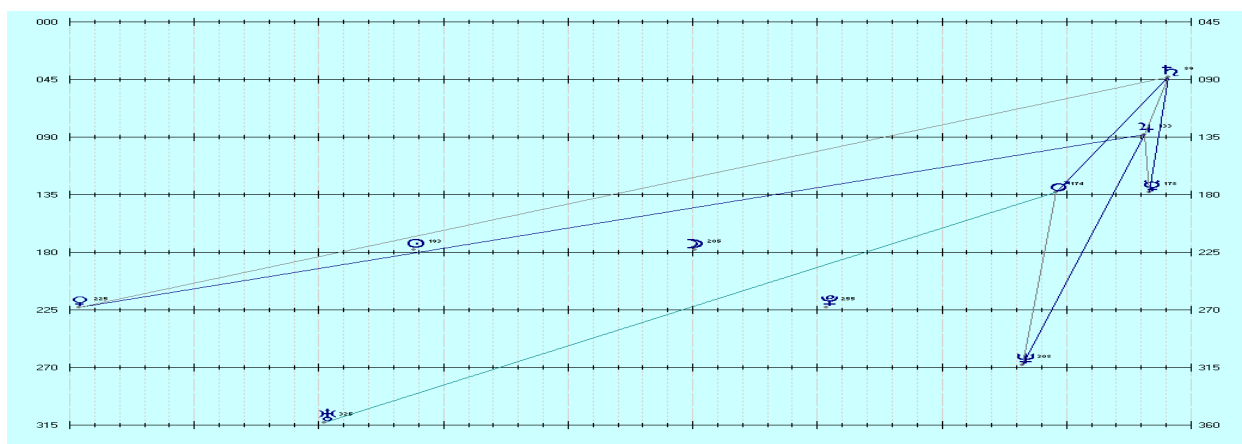


Рис. 4.1. Статическая карта шахты «Ульяновская»

Анализ аварии на шахте «Распадская».

Шахта "Распадская" вступила в строй 28 декабря 1973 года и до сих пор является крупнейшим угледобывающим предприятием в России. В ночь с **8-го на 9-е мая** в 21.02 по Гринвичу произошли два взрыва. По сути, авария парализовала не только деятельность самой шахты, но и всей угольной промышленности Кузбасса.

На момент первого взрыва в шахте находились 359 человек. Специалисты полагают, что причиной взрывов стали внезапные выбросы метана объемом в несколько десятков тысяч кубометров. По последним данным, при взрывах в ночь на 9 мая погибли 66 человек, неизвестна судьба 24.

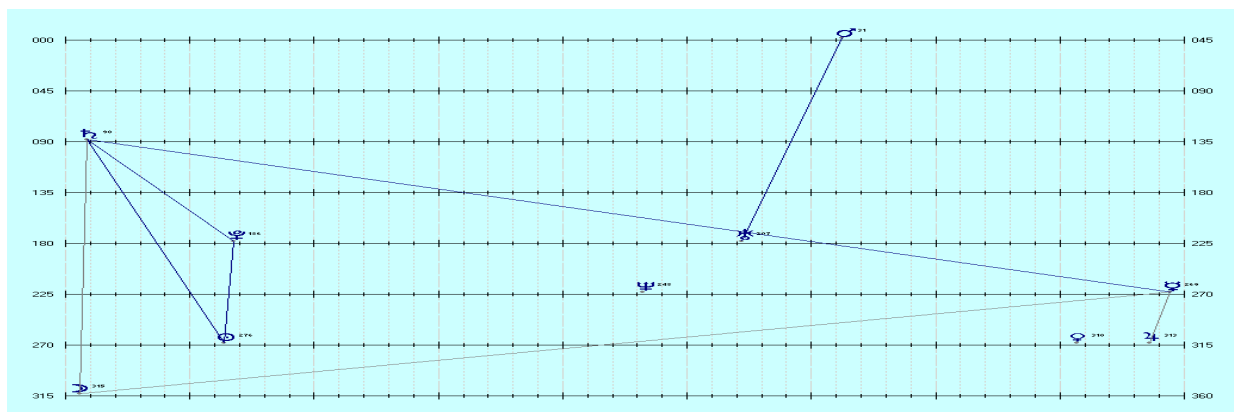


Рис.4.2. Статическая карта шахты «Распадская» на 28.12.1973 г.

Особенностью статической карты шахты «Распадская» является наличие конфигурации (SU 90 SA 90 PL) с орбисом в 6 градусов. Следовательно, вероятность крупных аварий особенно актуальна на фазах цикла Сатурн-Плутон каждые 8-9 лет и наиболее опасная в 36 лет (с учетом создания новой директной конфигурации). Статистика подтверждает данную закономерность: на шахте аварии происходили в 1982, 2001 гг. Нынешняя является наиболее опасной как по транзитам так и по фоновым циклам (Сатурн-Уран-Плутон).

На рис. 4.3. приведен график-прогноз вероятности аварий на шахтах Кузбасса в 2010 году, который позволяет скорректировать периоды вероятности на коротком интервале времени. Как было отмечено ранее, для составления прогноза среднесрочного и долгосрочного плана используется созданная математическая модель.

Следует отметить, что прогноз не может быть превращен в достоверное расписание событий, и будут иметь место как пропуски, так и не свершение

спрогнозированных событий. Случаи, когда спрогнозированные события не происходят, называются ошибками первого рода или ложными тревогами. Случаи, когда возникают не спрогнозированные события, т.е. события не отражены в прогнозе, называются ошибками второго рода или пропусками.



Рис. 4.3. Прогноз аварий на шахтах на 2010 год на основе динамики природной среды

Кроме того, для спрогнозированных событий могут иметь место ошибки во времени его свершения. Иными словами, достоверность определяется точностью прогноза факта события и времени его свершения.

Учет (неучет) ошибок производится в зависимости от варианта разрабатываемого прогноза.

При прогнозировании конфликта с точки зрения большей системы, включающей исследуемую, либо при общей востребованности прогноза и принятия действий по предупреждению нежелательных событий, ошибки первого и второго рода не связываются с достоверностью прогноза. Учет допущенных ошибок производится при решении узкоспециальных конкретных задач, когда используемая информация соответствует уровню исследуемой системы или когда при анализе текущей информации произведена требуемая коррекция системы.

Обозначенные в прогнозе периоды возникновения аварий могут являться ложными тревогами. Предпосылкой к аварии на шахтах является

возникновение главных циклов. Однако, как было отмечено ранее, для наступления факта необходима «точка воспламенения». Этой точкой является один из четырех РЗФ малой интенсивности. При транзите каждого из этих РЗФ по главным циклам, моделирующим аварии на шахтах, происходит повышение значений ИН, откуда определяются вероятные периоды аварий. Итак, реальным периодом аварии может быть один из четырех обозначенных, но каждый из них имеет одинаковую вероятность. Для определения более точной даты, необходимо детальное рассмотрение каждого из периодов, то есть составление оперативного прогноза.

Выводы:

1. Планетарно-циклическая модель аварий на шахтах имеет следующую формулу: авария на шахте = **(SA+PL) +NE+UR;**
2. Аварии на шахтах Кузбасса информационно проецируются на моменты формирования циклов Сатурн-Плутон, Сатурн-Уран, с ориентировочными периодами в 8-9 лет;
3. Адресный метод прогнозирования позволяет скорректировать наступление точек бифуркаций в каждой анализируемой системе (шахте)

Литература

1. Шабает Р. Заметки о проблемах планетарно-циклического моделирования чрезвычайных ситуаций// Chaos and Correlation, №10, 2009 г. http://chaosandcorrelation.org/Chaos/R_10_2009.pdf
2. Арефьева Д. Дипломный проект. Математическое моделирование и прогнозирование аварий на шахтах. СПб ГУ ИТМО, 2009 г.