

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАО «ГАЗПРОМ»

УДК 614.8

А.В. Бочков, к.т.н., ООО «НИИГазэкономика» (Москва, РФ),  
A.Bochkov@veselov.gazprom.ru

Д.В. Пономаренко, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

**Эффективность управления производственной безопасностью дочерних обществ и организаций ПАО «Газпром» в значительной степени зависит от качества информационного обеспечения. Создание целостной, эффективной и гибкой системы управления невозможно без комплексной автоматизации процессов сбора, регистрации, передачи, хранения и анализа информации и доведения выработанных на основе использования этой информации решений до объектов управления. В связи с этим требуется адекватное описание и моделирование реальности, растет потребность в развитии теоретических основ и построении адекватного модельного и технологического инструментария информационно-аналитической работы в области поддержки принятия решений, направленных на обеспечение производственной безопасности Общества. В статье рассмотрен широкий круг проблем, возникающих при решении этих задач, их взаимосвязь, роль неопределенностей и эпизодически происходящих опасных явлений в природе, техносфере, обществе и экономике как угроз стабильному функционированию и устойчивому развитию ПАО «Газпром». Сформулирован системный подход и даны рекомендации по мониторингу, анализу и прогнозированию состояния производственной безопасности в Обществе на основе комплексного использования моделей прогноза различного временного масштаба.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, РИСК, ОПАСНОСТЬ, МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ПАТТЕРН-АНАЛИЗ.

ПАО «Газпром» вместе со своими дочерними обществами, обеспечивающими эффективное функционирование и развитие Единой системы газоснабжения (ЕСГ) и надежное снабжение газом потребителей, действует как единый комплекс. Основной целью являются организация эффективной работы и получение прибыли в сфере обеспечения отечественных и зарубежных потребителей газом, газовым конденсатом, нефтью и продуктами их переработки на основе прямых договоров, а также по межгосударственным и межправительственным соглашениям. Промышленное производство,

помогая достижению этих целей, одновременно является одним из основных источников опасности для персонала, окружающей среды и третьих лиц. Для предотвращения воздействия опасных производственных факторов на состояние здоровья персонала, занятого на производстве, в том числе для снижения уровня заболеваемости профессиональными заболеваниями, производственного травматизма, негативного воздействия на окружающую среду, ПАО «Газпром» разрабатывает и внедряет в практику производственной деятельности высокоэффективные регулятивные механизмы. Их использова-

ние в рамках единой концепции отражает общемировую тенденцию построения корпоративных систем управления производственной безопасностью, под которой понимается состояние защищенности основных фондов, работников ПАО «Газпром», а также третьих лиц (включая их имущество) и окружающей среды от воздействий негативных факторов происшествий, вредных и опасных производственных факторов [1]. В настоящее время составляющими производственной безопасности в ПАО «Газпром» являются охрана труда, промышленная и пожарная безопасность.

**Bochkov A.V.**, Ph.D. in Engineering Science, NIIgazekonomika LLC (Moscow, RF), A.Bochkov@econorm.gazprom.ru  
**Ponomarenko D.V.**, Gazprom PJSC (Saint Petersburg, RF)

### Research and methodology fundamentals of monitoring and forecasting the condition of occupational safety of Gazprom PJSC

The efficiency of occupational safety management in subsidiary companies and organizations of Gazprom PJSC mainly depends on the quality of information provision. It is impossible to create an integrated, effective and flexible management system without comprehensive automation of collection, registration, transfer, storage and information analysis processes and without transmitting the solutions that were developed on the basis of the aforementioned to management objects. In view of this, it is necessary to properly describe and simulate the reality; the need for the development of theoretical framework and construction of a proper model and technological tool set of information and analytical work in the field of decision support aimed at ensuring occupation safety in the Company, is growing. The article presents a wide range of issues arising when solving such tasks, their interrelation, the role of uncertainties and dangerous phenomena that occur now and then in nature, technosphere, society and economy as threats to stable functioning and sustainable development of Gazprom PJSC. A systemic approach is formulated, and recommendations on how to monitor, analyze and forecast the condition of occupational safety in the Company on the basis of the integrated use of forecast models of various time scales, are given.

**KEY WORDS:** OCCUPATIONAL SAFETY, UNCERTAINTY, RISK, DANGER, MONITORING, FORECASTING, INDICATOR SYSTEM, PATTERN ANALYSIS.

Удачный выбор качественных и/или количественных показателей крайне важен для программно-целевого планирования и управления сложными процессами обеспечения производственной безопасности. Такие показатели должны не только позволять оценивать действительное положение дел в различных ситуациях, но и помогать рационально использовать имеющиеся ресурсы для решения проблемных ситуаций. Приоритет при этом должен отдаваться количественным показателям, поскольку эффективное управление предполагает не только точное определение цели, но и мониторинг траектории движения к ней. Для выполнения таких процедур качественные показатели в большинстве своем мало пригодны.

Система мониторинга, построенная с учетом перечисленных особенностей, позволит своевременно предоставлять лицам, принимающим решения (ЛПР), информацию о параметрах, с помощью которых они могут анализировать текущее состояние наиболее критичных систем и элементов системы обеспечения производственной безопасности ГАО «Газпром», оценивать отклонение этих параметров от

допустимых значений и прогнозировать развитие негативных ситуаций.

Общие требования к показателям системы обеспечения производственной безопасности обусловлены ее основной задачей, которой являются исключение (снижение) уровня заболеваемости профессиональными заболеваниями, травматизма на производстве и аварийности, отрицательно сказывающихся на качестве трудового процесса. Поэтому выбранные показатели должны не только быть связанными напрямую с негативными ситуациями, но и характеризовать эффективность производства. Основными показателями качества системы обеспечения производственной безопасности могут быть различные числовые характеристики случайных или четких величин, например ущерб (вред) от аварий, затраты на предупреждение аварийности и травматизма и др. На практике под критериями производственной безопасности в широком понимании этого термина подразумевают все требования промышленной безопасности и охраны труда, предъявляемые к функционированию производственных объек-

тов в соответствии с нормативными документами, поскольку именно по результатам оценки того, в какой мере выполняются те или иные требования, делают вывод об уровне безопасности. Огромное количество таких критериев сформулировано в нормативных документах, посвященных проектированию, строительству и эксплуатации производственных объектов как важнейшим стадиям их жизненного цикла, на которых закладываются параметры безопасности, обеспечиваемые соответствующими конструктивно-технологическими и медико-социальными характеристиками.

Правило «Для того чтобы чем-то управлять, нужно уметь это количественно измерять» стало основным принципом совершенствования управления, используемым в активно развивающейся в последние годы методологии управления, так называемой системе сбалансированных показателей (Balanced Scorecard) [2]. Главное отличие таких показателей от произвольно заданных заключается в том, что все они, во-первых, ориентированы на структуру стратегических целей и, во-вторых, взаимосвязаны и сгруппирова-





ны по определенным признакам и охватывают все основные направления деятельности организационно-экономической системы. Эта методология активно используется ПАО «Газпром» в системе среднесрочного и стратегического планирования [3, 4], однако в сфере обеспечения производственной безопасности задача построения эффективной системы мониторинга и прогнозирования все еще остается актуальной. Для построения такой системы необходимы индикаторы условий возникновения и развития нештатных и кризисных ситуаций, в качестве которых могут выступать показатели производственной безопасности, обладающие высокой чувствительностью и изменчивостью. Эти индикаторы и показатели должны в количественной форме выражать угрозы безопасности и иметь обобщенный характер, позволяя ранжировать уровень угроз.

Устойчивость развития ПАО «Газпром» определяется динамикой факторов, характеризующих финансово-экономические, производственные сегменты деятельности, а также промышленную безопасность, охрану труда и воздействие на окружающую

устойчивости развития Общества необходимо уметь измерять указанные факторы, а также иметь определение понятия «устойчивое развитие Общества» как минимум в виде «коридора» основных финансово-экономических и производственных показателей, выход за пределы которого характеризуется как угроза потери устойчивости.

Отличительной чертой системы управления производственной безопасностью является то, что объектом управления здесь является не само производство, имущество, материалы и персонал предприятия, а показатели состояния объекта управления, на три веро-внеплановые потери, снижения уровня которых можно добиться за счет управления (изменения составляющих производства и/или способа их организации в рамках бюджета предприятия). При этом абсолютная производственная безопасность не достижима ни при каких условиях, так как всякое снижение внеплановых потерь требует расходов, и чем меньше остаточный риск внеплановых потерь, тем больше средств необходимо на это затратить.

Влияние уровня производственной безопасности на устойчи-

вие Общества можно измерить тремя основными показателями:

- величиной фактических внеплановых потерь (ущерб от чрезвычайных ситуаций, аварий, инцидентов, технических отказов, внештатных ситуаций и т. п. на предприятиях Общества, травматизма и гибели людей без учета компенсирующих страховых выплат);

- ожидаемьи уровнями промышленных, индивидуальных и профессиональных рисков (оценки прогнозируемых (ожидаемых) уровней промышленных и профессиональных рисков предполагают расчеты (прогнозирование) возможных масштабов и частот реализации аварий и чрезвычайных ситуаций);

- уровнем страховой защиты объектов Общества (комплексный показатель, включающий показатели страховой защищенности предприятия и персонала и катастрофичности, отражающей долю внеплановых потерь, компенсируемых за счет страхования).

Количественными характеристиками уровней безопасности могут также служить:

- индивидуальные и социальные риски и степени ущерба здоровью или гибели сотрудников и населения, а также риски ущерба окружающей среде, связанные с возможностью возникновения аварий, чрезвычайных ситуаций и инцидентов на конкретных опасных производственных объектах (ОПО) Общества;

- показатели состояния условий труда, защиты здоровья персонала;

- показатели реализации разработанной системы мер по защите здоровья населения, проживающего в районах деятельности организаций ПАО «Газпром» (экологические, медицинские, финансовые и т. д.);

- показатели сохранения благоприятной окружающей природной среды, включая концентрации загрязняющих веществ в

районах размещения производственных объектов Общества.

Таким образом, количественная оценка состояния производственной безопасности предполагает анализ динамики широкого спектра абсолютных и удельных показателей аварийности и травматизма, а также экологических показателей деятельности Общества, по ряду которых в настоящее время ведется учет в соответствии с государственными и локальными нормативными требованиями, а также показателей риска.

Ключевой проблемой в управлении производственной безопасностью является отсутствие возможности, по большому счету, принципиальная невозможность) создания общих баз данных по всем возможным ситуациям, так как большинство из них уникальны, а информация о них нередко противоречива. В отличие от системного и диспетчерского управления управление производственной безопасностью – принципиально адаптивный вид управления в условиях выбора и наличия альтернатив при принятии решений, что в какой-то степени роднит его с ситуационным управлением. Осознание этого обстоятельства возникло в последние годы и на государственном, и на корпоративном уровнях управления. Уже на протяжении ряда лет в Российской Федерации в целях обеспечения информационно-аналитической поддержки стратегического планирования и повышения эффективности государственного управления, в том числе при возникновении чрезвычайных (кризисных) ситуаций, создается Система распределенных ситуационных центров (СРСЦ) [5] и развивается система дистанционного контроля (надзора) промышленной безопасности ОПО (С) (КИИВ СГО) нефтегазового комплекса [6].

К СРСЦ предполагается подключение и корпоративных ситуационных центров (СЦ), обеспечивающих ситуационную

осведомленность ЛПР. Ситуационная осведомленность, в свою очередь, характеризует качество управления в части возможности получения достаточно полного и точного набора необходимой для принятия решения информации о возникающих ситуациях в реальном масштабе времени. Достигается это путем интеграции средств связи, методов поиска, хранения, обработки, визуализации и распределения потоков внешней и внутренней информации об объекте управления, что позволяет руководителям высшего звена оценить объективное состояние объекта управления, раскрыть тенденции его развития, выявить скрытые риски, угрозы и их особенности, отработать различные способы действий на опережение, проанализировать возможные последствия и осуществить выбор рационального варианта управленческого решения.

В рамках создания СДКПБ ОПО помимо организации ситуационно-аналитического центра, ответственного за обеспечение ситуационной осведомленности в области производственной безопасности, активно ведутся исследования по разработке методик оценки технических рисков промышленной безопасности, интегрированного показателя риска аварий на ОПО и требований к способам и алгоритмам аналитической обработки исторических данных и прогнозирования состояния промышленной безопасности ОПО.

Анализ протекания аварийных и кризисных ситуаций практически во всех отраслях деятельности человека свидетельствует о том, что 10–30 % годовых случаев протекают в непрогнозируемом режиме. Причины этих событий многообразны и априори не могут быть «угаданы» ни на этапе проектирования систем, ни на последующих этапах, связанных с разработкой и проведением комплексов мероприятий

по снижению рисков. Последнее обстоятельство крайне важно учитывать при обеспечении промышленной безопасности ОПО, где непродуманная организация мониторинга может привести к лавинообразному, неконтролируемому росту объемов данных самой разной природы и аналитики могут столкнуться с явлением, получившим в последние годы название «большие данные» (Big Data). Современные исследования в этой области направлены на разработку подходов, практических инструментов и методов обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объемов и значительного многообразия для получения воспринимаемых человеком результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста информации об объектах управления.

Головной научный центр ПАО «Газпром» в области экономики, организации управления и прогнозирования развития газовой отрасли ООО «НИИ «Газэкономика» совместно со структурными подразделениями ПАО «Газпром» на протяжении ряда лет разрабатывает и апробирует на практике комплексную методологию работы с Big Data, которая, не влияя напрямую на физико-химическую и технологическую природу аварийности или на законы взаимодействия аварийного процесса и окружающей его внешней среды, тем не менее позволяет ускорить процессы обнаружения нежелательных ситуаций, определить характер их протекания, сократить время, необходимое для принятия эффективного ситуационного плана принятия штатных и нештатных мер. Этот подход к исследованию процессов управления безопасностью можно назвать информационным, выделяющим и изучающим в объектах исследования различные виды потоков информации, способы их обработки, анализа, преоб-





разрешения, передачи и т. п. Как следствие, применение наиболее эффективных форм управления неразрывно связано с активным использованием окружающего и внутреннего информационного пространства, состояние которого определяется информационным ресурсом.

Если представлять управление как передачу и информационных потоков от одного субъекта управления другому, то управление производственной безопасностью можно охарактеризовать как процесс формирования целостного управляемого объекта управления и обеспечения устойчивых режимов его функционирования в условиях риска и неопределенности посредством организации потоков внутренней и внешней информации, а также методов ее поиска, обработки и распределения, позволяющих осуществить формирование, выбор и использование рационального управленческого решения. А это, в свою очередь, означает, что уже при организации процессов сбора и накопления данных крайне важна правильная их структуризация, удачный выбор качественных и/или количественных технико-экономических показателей для программно-целе-

вого планирования и управления сложными процессами (например, обеспечение промышленной безопасности ОПО, оценка состоятельности контрагентов, участвующих в закупках, относящихся к обеспечению безопасности функционирования объектов ЕСГ, и т. п.). Такие показатели должны позволить не только оценить действительное положение дел в дочерних обществах и организациях, но и рационально использовать имеющиеся ресурсы для решения проблемных ситуаций.

Отметим, что методы обработки и оценки информации, прогнозирования состояния производственной безопасности как в целом, так и по отношению к составляющим ее областям (промышленная и пожарная безопасность, охрана труда) имеют сходный характер. Специфика дальнейшего изложения обусловлена наличием более представительной статистики в области анализа аварийных процессов и аварийных ситуаций, чем при анализе нарушений, связанных, например, с охраной труда на производстве. Однако ряд исследований подтверждает применимость обсуждаемых подходов, вычислительного и методического аппарата к широ-

кому спектру задач обеспечения производственной безопасности ПАО «Газпром».

В качестве практических рекомендаций (поскольку в отечественном законодательстве и нормативно-методической документации, регулирующей отношения в системе обеспечения производственной безопасности, в настоящее время нет четко сформулированных критериев) приведены критерии качества системы обеспечения производственной безопасности с учетом практики применения общих (например, ожидаемый ущерб от аварии) и частных (например, количество обращающихся опасных веществ) показателей опасности аварии необходимо руководствоваться минимум тремя соображениями:

- при оценке опасности следует отдавать приоритет более общему показателю как системной характеристике и источнику опасности, и объекту защиты;
- необходимо учитывать, что частный показатель опасности аварии характеризует напрямую только источник опасности;
- следует обращать особое внимание на величину возможного ущерба (вреда), причиняемого третьим лицам.

Пространство показателей, которыми оперирует как компания в целом, так и любой ее бизнес-сегмент, должно быть образовано совокупностью хорошо сбалансированных показателей. При этом одним из наиболее важных факторов сбалансированности является четко прослеживаемая связь показателей, оценивающих выполнение стратегических целей компании, со всей остальной совокупностью показателей, используемых в бизнес-деятельности на всех уровнях иерархии системы управления компанией.

Для установления кризисного и деградационного уровней значенных индикаторов и показателей можно использовать так называемый статистический принцип,

предполагающий, что допустимый уровень значения показателя определяется как сумма среднего (за достаточно продолжительный период времени) значения показателя и среднеквадратичного отклонения от среднего за этот период, а кризисный уровень – как сумма среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения. Алгоритмы расчета теоретических значений таких показателей и индикаторов и их среднеквадратичных отклонений может быть построен с применением стандартных статистических методов, например метода наименьших квадратов [7].

Поактически любая ситуация, включая аварийную, может быть идентифицирована и описана. Идентификация ситуации – это отражение в содержании ее описания какого-то реального события путем одного из возможных способов его описания. При описании ситуации эти опасные обычно группируются в зависимости от своей природы. По сути, каждая ситуация может быть описана, например, в форме анкеты-вопросника и оценена экспертно как штатная или внештатная. Анкетирование вносит системность в процесс выявления опасностей при анализе сценарных ситуаций. С помощью анкеты проверяют, посвящается ли та или иная опасность в описании анализируемой ситуации или нет.

Поэтому разумно на начальном этапе развития систем мониторинга и прогнозирования состояния производственной безопасности ПАО «Газпром» создавать ряд «советующих» инструментов – элементов будущих экспертных систем (ЭС), выстраивать из них каскад модулей для обеспечения принятия экспертных решений, разрабатывать гибкую систему мониторинга.

Вообще проблема анализа ЕСГ как субъекта прогнозирования является отражением в прогностике более общей проблемы анализа систем. В каждом конкретном слу-

чае способом и результат анализа определяются целями исследования и характером изучаемого объекта [8]. В случае исследования рядов исторических данных редких событий мы имеем дело с дискретными динамическими вероятностными процессами. Поэтому конечной целью анализа ЕСГ является разработка прогностической модели динамики внештатных ситуаций, позволяющей с помощью экспериментов уменьшать степень неопределенности дат событий и их масштаба, т. е. получать прогнозную информацию об объекте прогнозирования за счет выявления скрытых закономерностей, указывающих либо на изменения состояния объекта (ЕСГ), либо на закономерности изменений параметров внешней среды, существенно влияющей на функционирование ЕСГ (законы изменчивости прогнозного фона).

Основные этапы прогнозирования – это ретроспекция, диагноз и проспекция (предсказание). От этапа к этапу глобальное прогнозное исследование непрерывно уточняется: осуществляются детализация структуры изучаемого объекта и оптимизация структуры описания прогнозного фона, т. е. поиск наиболее значимых характеристик внешней среды. Изначально в качестве порочной характеристики прогнозного фона любого динамического процесса выступают время (дата событий) и определяемые через него производные показатели (год, месяц, число дня в месяце, день в рабочей неделе и т. д.). Далее, одновременно с выявлением того, насколько одинаково или различно эти производные от времени характеристики влияют на динамику показателей аварийности, должно приниматься решение: агрегировать ли характеристики по неделям, месяцам, кварталам, годам, и если агрегировать, то каким способом.

Это очень важно, поскольку агрегирование, по сути, является подменой сложных динамиче-

ских информационных массивов данных их обобщенными характеристиками, например средним значением (математическим ожиданием) или дисперсией, на которую сильно влияют большие выбросы данных (в данном случае – показатели аварий с большими ущербами и/или потерями газа) и, главное, типом распределения агрегированной суммы.

Открытым и малоизученным остается вопрос о типах распределения показателей аварий, особенно аварий с тяжелыми последствиями. Ясно, что из-за их квантовой природы использование аппарата анализа данных, основанного на классических законах больших чисел, является некорректным. Собственно, сходимость по вероятности в реальности практически никогда не наблюдается, за исключением статистики, накопленной в системах массового обслуживания. Соответствие теории реальности в этих сферах деятельности достигается за счет очень большого количества реализаций. Качественная и, главное, продуктивная критика статистического анализа данных, содержащих большие выбросы значений, имеется во многих монографиях, например ряд работных (устойчивых к выбросам данных) методов статистической обработки содержится в ставшей уже классической работе [9].

Анализ динамики дат аварий на ЕСГ с 1998 г. наглядно и убедительно показывает, что даты возникновения аварий не являются реализацией блуждания случайной бернуллиевской величины и необходим корректный порционный анализ многолетней статистики, и уже на основе этого анализа выяснится, возможна ли разработка адекватного исследуемой задаче инструмента прогнозирования и то, какая доля случайности дат возникновения внештатных ситуаций и их масштабов может быть с его помощью устранена [10].





Также очевидно, что, поскольку истинные законы распределения анализируемых случайных процессов и, главное, факторы, их определяющие, будут непрерывно корректироваться (система ЕСГ, как любая высокотехнологичная «живая» система, изменяется быстрее, чем и накапливается адекватная статистика [11]), необходимо использовать критерии, свободные от распределений. Можно в качестве критериев достижения прогностической цели брать не величины отклонений модельных и реальных данных, а критерии, применяемые в методах классификации и распознавания образов. Например, в качестве измерения точности прогноза можно использовать величины ошибок предсказания первого и второго родов для различных классов и типов аварийных ситуаций, причем если удастся, то в зависимости от классов физического объекта и от значения параметров прогнозного фона. Второе обстоятельство очень важно, поскольку, например, некорректно складывать статистику аварийности различных времен года, так как в различные сезоны протекают различные технологические процессы (например, в I-XI).

Собственно, аварии могут возникать как по внутренним (старе-

ние, износ оборудования), так и по внешним (например, экстремальные природные) причинам, а поскольку чаще всего причина комбинированная, то статистически можно устранить только часть неопределенности, объяснимой отдельно внешними или внутренними причинами. Отсюда ясно, что при анализе динамики редких событий только средствами технического анализа исторических данных надеяться на полноту и точность прогноза, превышающие 50 %, не следует, и значит, прогноз надо строить на принципах, хорошо известных в теориях моделирования и подобию. Устойчивыми модельными конструкциями для целей прогнозирования являются обнаруженные константы (они же – циклы с бесконечным периодом) и ряд самоподобных структур [12–14].

В результате выполненного ранее в ряде НИР для нужд ПАО «Газпром» [15] факторного анализа данных по аварийности показано, что статистика по месяцам, кварталам, годам, дням месяца, дням недели неоднородна. Это означает, что можно и, главное, нужно извлечь информацию, позволяющую улучшить прогноз в среднем. Возможность построения экспертной системы правил, уточняющей масштабы событий в зависимости от сезо-

на, дня рабочей недели и других факторов, процесс описана в виде продукционной системы, типовой для классических ЭС [16].

Обнаруженный волновой характер динамики дат аварийных ситуаций говорит в пользу применения для прогноза классических экстаполирующих «колебательных» функций (термин классической теории прогнозирования [8]). Перспективным представляется применение классического аппарата цифровой обработки сигналов – спектрально-анализа данных [17]. Здесь также имеются специфические трудности обнаружения закономерностей. Главная из них – это преобладание дней, в которых нет никаких аварий. Поэтому методы спектрального анализа, возможно, будут адекватны для обобщенных интервалов времени, например для предсказания числа аварийных дней в очередной «серии» внештатных ситуаций, но для проверки этого утверждения необходимы вычислительные эксперименты. Для построения же прогностической системы, основанной на асимметриях распределений дат возникновения внештатных ситуаций, следует использовать метод обнаружения скрытых закономерностей, хорошо известный специалистам по теории чисел, теории кодирования и декодирования информации в области распознавания образов. Важное свойство информационных метрик при классификации случайных образов с априорно неизвестными законами распределения – то, что эти метрики «свободны от типа распределения случайных величин» [18], что особенно важно при исследовании статистики внештатных ситуаций.

С учетом вышесказанного задача прогнозирования естественно разбивается на задачи трех уровней:

- макропрогнозирование основных тенденций изменения индикаторов аварийности с учетом

влияния результатов научно-технических достижений в области безопасности и функционирования ЕСГ и определению размеров и границ коридоров изменений базовых индикаторов;

- мезопрогнозирование сезонных (технологических) и других колебаний в динамике аварийности в пределах «естественных» коридоров;

- микропрогнозирование конкретных дат и границ интервалов областей ожидаемой повышенной аварийности.

**Макропрогнозирование** развития некоторого процесса  $f(t)$  – определение основной тенденции и скоростей роста значений  $f(t)$  в будущем (за пределами извест-

ного исторического интервала) через определение и аналитическое продолжение основной тенденции (тренда  $f_0(t)$ ), верхней ( $f_{max}(t)$ ) и нижней ( $f_{min}(t)$ ) границ коридора прогноза и его нижнего  $\Delta f_{min}(t)$  и верхнего размеров  $\Delta f_{max}(t)$  (рис. 1):

$$\begin{cases} \Delta f_{max}(t) = f_{max}(t) - f_0(t) > 0 \\ \Delta f_{min}(t) = f_0(t) - f_{min}(t) > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Величины верхних и нижних коридоров для анализа показателей аварийности должны в принципе различаться в размерах, потому что добиться снижения аварийности на 2–3 аварии в год намного труднее, нежели «догустить» больше аварий на те же самые 2–3 единицы. Анало-

гичная ситуация имеет место и с «производными» показателями, например внеплановыми ущербами, потерями газа. Поэтому стандартные методы регрессионного анализа, такие как метод наименьших квадратов (минимизация дисперсии), в чистом виде здесь не применимы.

**Мезопрогнозирование** – стадия более корректной обработки данных, к которой можно перейти, осуществляя, например, нелинейное преобразование следующего вида:

$$g(t) = A(t) f^2(t) + B(t) f(t) + C(t). \quad (2)$$

Функции-коэффициенты преобразования  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  подбираются таким образом, чтобы верхняя граница коридора отобразилась в функцию «+1», нижняя граница коридора – в функцию «-1», а тренд составил нулевую ординату – ось абсцисс. Решая соответствующую систему из трех линейных уравнений для  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  в каждой точке времени  $t$ , получаем:

$$A(t) = \frac{2f_0(t) - f_{min}^2(t) - f_{max}^2(t)}{\Delta},$$

$$B(t) = \frac{f_{min}^2(t) - 2f_0^2 - f_{max}^2(t)}{\Delta}, \quad (3)$$

$$C(t) = \frac{f_0^2 [f_{max}^2(t) + f_{min}^2(t)] - f_0^2 [f_{max}^2(t) + f_{min}^2(t)]}{\Delta},$$

где  $\Delta = \Delta f_{max}(t) \Delta f_{min}(t) (\Delta f_{max}(t) + \Delta f_{min}(t))$  – определитель системы.

Определив для функции  $g(t)$  тренд мезовасштабной поправки  $g_0(t)$  (рис. 2), далее уточняют «волновой» тренд этой поправки  $g_0(t)$ , а также верхний ( $g_{max}(t)$ ) и нижний ( $g_{min}(t)$ ) коридоры поправки, которые уже, как правило, не являются монотонными функциями. Чаще всего тренд и коридоры поправок представляют суммы ограниченного количества затухающих колебаний [16].

Размеры нижнего  $\Delta g_{min}(t)$  и верхнего размеров  $\Delta g_{max}(t)$  коридоров для поправок:

$$\begin{cases} \Delta g_{max}(t) = g_{max}(t) - g_0(t) > 0 \\ \Delta g_{min}(t) = g_0(t) - g_{min}(t) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

являются более узкими, и выполняется условие:

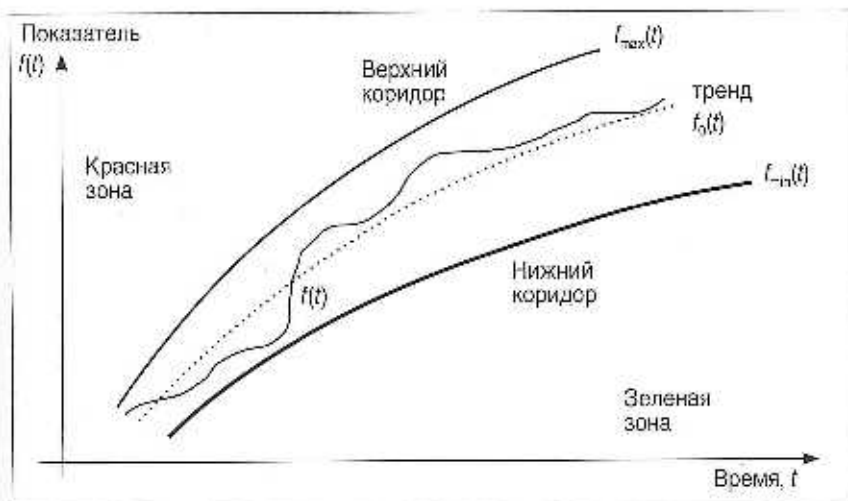


Рис. 1. Иллюстрация задачи макропрогноза

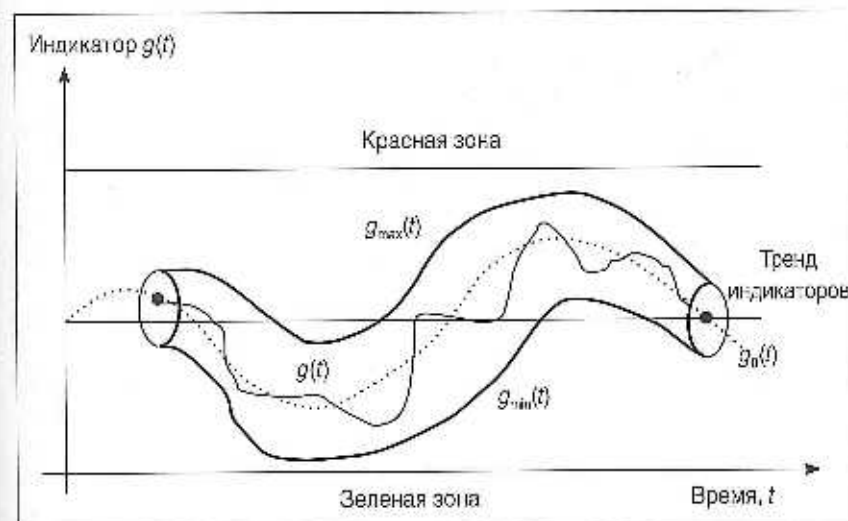


Рис. 2. Иллюстрация задачи поиска закономерностей в поправке прогноза тренда





$$-1 \leq \frac{2g(t) - g_{\max}(t) - g_{\min}(t)}{\Delta g_{\max}(t) + \Delta g_{\min}(t)} \leq +1, \quad (5)$$

что позволяет, подставив в (2) выражение для  $g(t)$  из (5), уточнить «осциллирующую» тренд  $f_0(t)$  и границы верхнего  $f_{\max}(t)$  и нижнего «коридора»  $f_{\min}(t)$  прогноза, которые уже приобретут «естественно наблюдаемый» волновой характер.

Если взять много экспонент для приближения  $g_0(t)$ , то приблизить фактически данные через вычисление  $g(t)$  можно с любой степенью точности (узкий коридор), но такой прогноз будет неустойчивым и кратковременным [18]. Известно, что при случайном блуждании время пребывания наблюдаемого параметра в границах коридора пропорционально квадрату его размера. Поскольку технологии безопасности хоть и глазомерно, но меняются со временем, обнаруженная закономерность обязательно изменится. И чем она сложнее, тем скорее разрушится. Напротив, если взять мало экспонент, будет корректно в «среднем» выявляться основная тенденция, но коридор для поправки будет оставаться достаточно большим, и ценность подобной уточнения прогноза из-за малой точности итогового прогноза будет потеряна.

Выходя из этой ситуации несколько. Первый – расчет большого числа вариантов приближений поправкам к ретроспективным данным и выбор из них «золотой» середины путем привлечения «дополнительных соглашений» относительно баланса между точностью описания «прошлого» и устойчивостью описания тенденции будущего развития процесса. Второй вариант – построение адаптивной схемы прогноза, когда малым количеством косинусоид приближаются только «последние» ретроспективные данные, при этом «забываются» данные из более удаленного прошлого. Но этот подход имеет существенный недостаток: в меньшей (сокращенной по объему) выборке может быть потеряна полезная информация, например о глобальных циклических факторах, в частности об обусловленных «длиными волнами» в экономике [11]. Анализ показывает, что динамика аварийности носит к тому же нестационарный и сезонный характер, и динамика «сезонных периодов» деятельности СОГ ближе к динамике «весенних» периодов прошлых лет, нежели к динамике зимнего периода

текущего года. Другим аргументом в пользу изучения мезомасштабных волновых процессов является то обстоятельство, что волновой характер изменения аварийности естественен для всех высокотехнологичных видов деятельности.

*Микропрогнозирование* оперирует моделями, принципиально отличающимися от описанных выше моделей прогноза макроуровня и мезоуровня. Если для первых важен размер коридоров прогнозов, то в моделях микропрогнозирования допустимы приемлемые различия траекторий реальных и прогнозируемых анализируемых показателей, которые наблюдаются в зависимости от того, где располагаются факты, которые не удалось «предугадать». Так, если «непредугаданными» окажутся даты аварий в начале исследуемого периода, то в течение всего периода оценка интегральных кривых будет занижена по отношению к реальности и только к концу интервалов прогнозирования приблизится к расчетным оценкам по макромоделям. Напротив, если «непредугаданными» окажутся даты аварий в конце исследуемого периода, интегральная оценка будет занижена. И это при одинаковых процентах «угаданных» аварийных дней. Поэтому, конечно же, идеальным было бы «равномерное» распределение ошибок предсказания, но такая картина наблюдаться никогда не будет без сопряжения моделей микроуровня с моделями макро- и мезоуровня, указывающих на зоны повышенной интенсивности аварий (предмет будущих исследований).

Модели микропрогнозирования непосредственно связаны с «угадыванием» дат возникновения самых мелких «зубцов» на прогнозных функциях. Принципиально эти модели являются моделями распознавания образов (паттернов), указывающих на даты (интервалы дат), в которых

наиболее ожидаемо появление неидентифицируемых аварийных ситуаций. Определение границ коридоров моделей верхних уровней базируется на предположении, что динамическая картина аварийности реализуется вследствие наложения детерминированных и случайных причин (факторов). Если поране из этих факторов отщепляются верхние и нижние коридоры, то случайные факторы определяют так называемые блуждания реальных кризисов между границами коридоров. Выполненные в ООО «НИИгазэкономика» исследования [15] убедительно показали, что для различных фаз «естественных» циклов, различных дней рабочей недели, разных месяцев, а также различающихся дней в месяце статистики аварийности значительно различаются. Это означает, что есть основания для поиска комбинаций факторов, при которых аварийность повышена (поиск «негативных» паттернов), а также для определения благоприятных комбинаций факторов, при которых, по крайней мере в обозримой ретроспективе, крупных аварий не наблюдалось, и есть надежда, что и в обозримом будущем наблюдаться не будет.

Таким образом, модели микропрогнозирования нацелены на то, чтобы выделить существенные факторы, выстроить из них комбинации (паттерны) и оценить их. В результате появляется возможность, анализируя «каждый будущий день»,

определиться, к какому паттерну (хорошему или плохому) этот день относится, и дать этому дню соответствующую оценку на будущее. Факторы, в которых наблюдаются различия, имеют как циклическую, так и нециклическую природу. Совместный учет всех факторов возможен при построении развивающейся ЭС, учитывающей, в том числе, экономические показатели изучаемых объектов ЕОГ, что позволило разработать классификатор уровня аварийности дат, в основе которого лежит отбор соответствующих периодов и выбора сочетаний «рабочих» фаз, указывающих на повышенную (пониженную) аварийность внутри общего большого цикла, получающегося наложением соответствующих гармоник.

Все вышесказанное, а также требования системного подхода к исследованию перечисленных в статье задач естественно приводят к необходимости моделирования системы обеспечения производственной безопасности ПАО «Газпром» как развивающейся системы [19]. Любой объект исследования, дополненный, если необходимо, определенными связями с другими развивающимися объектами, в частности с субъектами исследования, можно интегрировать в виде такой системы. Понимание этого обстоятельства способствует все более активному развитию этого направления в различных отраслях науки [19–23].

Экспертные оценки показывают, что суммарный эффект от применения всех доступных средств ситуационного анализа (идентификация опасной деятельности, декларирование безопасности, планирование действий при аварии, информирование населения о возможной чрезвычайной ситуации) по снижению аварийности и влеченных потерь может достигать 10–15 %. Например, быстрое законодательное принятие странами Европейского сообщества основных положений Директивы Seveso (1982) [24] позволило снизить аварийность в развитых странах в 4–8 раз (от 400 аварий, в том числе 75 крупных, в 1983 г. до 70, в том числе 21 крупной, в 1989 г.). При этом предлагаемые меры информационного и организационного характера станут более действенными, если все составляющие системы угрозления производственной безопасности, предотвращения и локализации ситуаций с негативными последствиями будут работать в соответствии с едиными регламентами и стандартами. Следовательно, необходим процесс постепенной актуализации состояния информационного, нормативно-методического и прогнозно-аналитического обеспечения деятельности в области производственной безопасности как на уровне ПАО «Газпром», так и на уровне государства. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лесных В.З., Пономаренко Д.З. Концептуальные аспекты разработки стратегии развития системы управления производственной безопасностью ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2016. № 7–8. С. 74–77.
2. Robert S. Kaplan, David P. Norton: The Strategy Focused Organization. Strategy and Leadership, 2001, Vol. 29, No. 3, P. 41–52.
3. Положение о системе ключевых показателей эффективности (КПЭ) деятельности ПАО «Газпром» и системы отчетности по КПЭ (утв. Решением Совета директоров ОАО «Газпром» от 21 октября 2014 г. № 2435).
4. Порядок планирования в ОАО «Газпром» с использованием стратегических целевых показателей (утв. Постановлением Правления ОАО «Газпром» от 26 июня 2006 г. № 34).
5. Указ Президента РФ от 25 июля 2013 г. № 846 «О формировании системы распределенных ситуационных центров работы по единому регламенту взаимодействия».
6. Показ федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 9 сентября 2016 г. № 377 «Об утверждении состава рабочей группы Программы мероприятий по реализации системы дистанционного контроля (надзора) промышленной безопасности опасных производственных объектов нестационарного комплекса и организации ее выполнения».
7. Барсуков А.И., Белька А.А., Гасных В.В. Формирование системы индикаторов и показателей оперативных и кризисных ситуаций на объектах ЕСГ // Промышленная и экологическая безопасность объектов газовой промышленности: Сб. науч. тр. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2005. С. 76–86.



8. Теория прогнозирования и принятия решений: Уч. пособие под ред. С.А. Саркисяна. М.: Высшая школа, 1977. 351 с.
9. Хампелл Ф., Ронchetti Э., Рауссер Р., Штаель В. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1968. 512 с.
10. Барсуков А.Н., Бочков А.В., Лосыkh В.В. Ситуационные центры. Мониторинг, прогнозирование и управление кризисными явлениями в газовой отрасли. Часть 1. Мониторинг и прогнозирование. М.: НИИ газэкономика, ООО «САМ Полиграфлот», 2015. 368 с.
11. Сахан Д. Научно-технический прогресс: Модели, методы, оценки. М.: Финансы и статистика, 1984. 367 с.
12. Лару-мл. П.Х. Вы на самом деле хотели бы знать все об экономике? / Пер. С.Д. Потренко. науч. ред. Т.В. Мурановский. М.: Шиллеровский институт, Украинский университет в Москве, 1999. 207 с.
13. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биология. М.: Наука, 1984. 304 с.
14. D.W.C. Ho, Ping-Au Zhang, Jinhua Xu, Fuzzy wavelet networks for function learning. IEEE Trans. Fuzzy Syst., Feb. 2001, Vol. 9, No. 1, P. 200–211.
15. Бочков А.В., Жигирев Н.Н., Лосыkh В.В. и др. Развитие методов прогнозирования и выявления слабоформализованных угроз устойчивому функционированию объектов ЕСН России на основе статистического и семантического анализа открытых информационных источников: отчет о НИР (проектный). М.: ООО «НИИ газэкономика», 2013. 154 с.
16. Попов Е.В., Фомин К.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. М.: Финансы и статистика, 1999. 315 с.
17. Варпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1980. 584 с.
18. Кульбак С. Теория информации и статистика. М.: Наука, 1967. 408 с.
19. Тудиков В.В., Иванюв В.В., Яценко В.М. Моделирование развивающихся систем. М.: Наука, 1983. 350 с.
20. Николь Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах / Под ред. Ю.А. Измаилова. М.: Мир, 1979. 512 с.
21. Реутов А.П., Савченко Н.Г., Сушков Р.М. Системная модель как оптимизация обобщенных качества – упорядоченности, надежности и эффективности // Вопросы кибернетики (управление сложными системами) / Под ред. А.П. Реутова, Р.М. Сушкова. М., 1979. С. 5–34.
22. Романовский Ю.М. Процессы самоорганизации в физике, химии и биологии. М.: Знание, 1981. 48 с.
23. Garf T. A theory of Biological subsystems and its application to problems of natural and artificial biogenesis. Budapest, Akademiai, 1979. 136 pp.
24. Directive on the Prevention of Major Accidents (Seveso II). Directive 2012/18/EC of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://phase1.pprdirect2.eu/assets/files/Publications/SevesoII\\_Directive\\_RUS.pdf](http://phase1.pprdirect2.eu/assets/files/Publications/SevesoII_Directive_RUS.pdf) (дата обращения: 17.02.2017).

#### REFERENCES

1. Lesnykh V.V., Fomenko D.V. Conceptual Aspects of the Development of an Occupational Safety Management System Development Strategy at Gazprom PJSC. *Gazovaya Promyshlennost' – Gas Industry*, 2016, No. 7–9, P. 74–77. (In Russian)
2. Robert S. Kaplan, David P. Norton: The Strategy Focused Organization. *Strategy and Leadership*, 2001, Vol. 29, No. 3, P. 41–42.
3. Regulation on the System of Key Performance Indicators (KPI) of Gazprom PJSC's activity and KPI reporting system (Approved by Decision of the Board of Directors of Gazprom OJSC as of October 21, 2014 No. 2435). (In Russian)
4. Planning Procedure at Gazprom OJSC with the Use of Strategic Target Indicators (Approved by Decree of the Management Board of Gazprom OJSC as of June 20, 2008 No. 34). (In Russian)
5. Frict of the President of the Russian Federation as of July 25, 2013 No. 648 "On Creating a System of Distributed Situation Centers that Operate under a Uniform Cooperation Regulation." (In Russian)
6. Order of Federal Environmental Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia (Roslekhnadzor) as of September 9, 2016 No. 377 "On Approving the Working Group Participants and the Plan of Action on the Implementation of a Remote Control (Supervision) System in Relation to Industrial Safety at Dangerous Production Facilities of the Oil and Gas Complex, and Organization of its Performance." (In Russian)
7. Barusov A.N., Bykov A.A., Lesnykh V.V. Creation of a System of Emergency and Crisis Situation Indicators and Indexes at UGSS's facilities. *Promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost ob'ektoy gazovoy promyshlennosti = Industrial and Environmental Safety of Gas Industry Facilities*. Collection of Research Papers. Moscow, VNIGAZ LLC, 2008, P. 78–86. (In Russian)
8. Forecasting and Decision-Making Theory. Textbook under the Editorship of S.A. Sarkisyan. Moscow, Higher School, 1977. 351 pp. (In Russian)
9. Hampel F., Ronchetti E., Rausser R., Stahel W. Robustness in Statistics: The Approach Based on Influence Functions. Moscow, Mir, 1989, 512 pp. (In Russian)
10. Barusov A.N., Bockov A.V., Lesnykh V.V. Situation Centers, Monitoring, Forecasting and Management of Crisis Events in the Gas Industry. Part 1: Monitoring and Forecasting. Moscow, NI gazekonomika, SAM Poligrafot, LLC, 2015. 368 pp. (In Russian)
11. Sakhan D. Scientific and Technical Progress – Models, Methods, Assessments. Moscow, Finance and Statistics, 1984. 367 pp. (In Russian)
12. LaPouche Jr. J.H. Sr. You Wish to Learn All About Economics? Translated by V.V. Fetrenko; Scientific Editor: T.V. Muranovskiy. Moscow, Schil of University, Ukrainian University in Moscow, 1992. 207 pp. (In Russian)
13. Romanovsky Yu.M., Stepanova N.V., Chernavsky D.S. Mathematical Biophysics. Moscow, Science, 1984. 304 pp. (In Russian)
14. D.W.C. Ho, Ping-Au Zhang, Jinhua Xu, Fuzzy wavelet networks for function learning. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, Feb. 2001, Vol. 9, No. 1, P. 200–211.
15. Bockov A.V., Zhigiray N.N., Losykh V.V., et al. Development of Methods of Forecasting and Identifying Underformalized Threats to Sustainable Functioning of UGSS's Facilities of Russia Based upon a Statistical and Semantic Analysis of Open Information Sources. Report on R&D (Interim). Moscow, NI gazekonomika LLC, 2013. 154 pp. (In Russian)
16. Popov E.V., Fomin K.B., Kisely E.B., Shapot M.D. Static and Dynamic Expert Systems. Moscow, Finance and Statistics, 1999. 315 pp. (In Russian)
17. Varple Jr. S.L. Digital Spectra: Analysis and its Application. Moscow, Mir, 1980. 584 pp. (In Russian)
18. Kulbak S. Information Theory and Statistics. Moscow, Science, 1967. 408 pp. (In Russian)
19. Glushkov V.V., Ivanov V.V., Yatsenko V.V. Developing System Modeling. Moscow, Science, 1983. 350 pp. (In Russian)
20. Nikolia G., Prigozhin I. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. Under the Editorship of Yu.A. Izmailov. Moscow, Mir, 1979. 512 pp. (In Russian)
21. Reutov A.P., Savchenko N.G., Suslov R.M. A System Model as a Relation of Generalized Qualities – Orderliness, Reliability and Efficiency. *Cybernetics Issues (System Development Management)*. Under the Editorship of A.P. Reutov, N.V. Suslov. Moscow, 1979, P. 5–34. (In Russian)
22. Romanovsky Yu.M. Self-Organization Processes in Physics, Chemistry and Biology. Moscow, Znanie, 1981. 48 pp. (In Russian)
23. Garf T. A theory of Biological subsystems and its application to problems of natural and artificial biogenesis. Budapest, Akademiai, 1979. 136 pp.
24. Directive on the Prevention of Major Accidents (Seveso II). Directive 2012/18/EC of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances. Access mode: [http://phase1.pprdirect2.eu/assets/files/Publications/SevesoII\\_Directive\\_RUS.pdf](http://phase1.pprdirect2.eu/assets/files/Publications/SevesoII_Directive_RUS.pdf) (Access date: February 17, 2017). (In Russian)