

УДК 629.10.061

© С.В. Овчаров, 2011

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ ОТ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



С.В. Овчаров,
канд. техн. наук, нач.
лаборатории
(ООО «Газпром
ВНИИГАЗ»)

В соответствии со статьей 6 Федерального закона от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [1] размер страховой суммы по договорам обязательного страхования напрямую зависит от максимально возможного числа потерпевших от аварии на опасном объекте. Поскольку объекты добычи, транспорта, хранения и переработки природного газа относятся к опасным производственным, аварии на которых могут наносить ущерб жизни и здоровью людей, то планируемое введение в действие в 2012 г. соответствующих положений указанного закона, безусловно, повышает актуальность разработки методов адекватной оценки потенциального количества пострадавших от аварий на опасных производственных объектах (ОПО) газовой промышленности (ГП).

В существующей практике прогнозная оценка числа пострадавших — один из этапов количественного анализа риска, методики проведения которого для ОПО ГП изложены в стандартах [2, 3], а сам он, как правило, в полном объеме выполняется в рамках разработки деклараций промышленной безопасности (ДПБ) [4]. С введением в действие закона [1] потребуются проведение быстрой и «массовой» оценки числа пострадавших при авариях на ОПО, как подлежащих, так и неподлежащих декларированию.

В данной работе описан подходящий, на наш взгляд, для этой цели методический подход к оцен-

In the Article the methodical aspects are reviewed pertaining to the estimate of the expected number of lost and injured people as a result of health effect of accidents adverse factors at hazardous production facilities of gas industry, which results can be used for defining insurance sums in the mandatory liability insurance agreements of the facilities owners for the accidents caused damage.

Ключевые слова: авария, опасный производственный объект, газовая промышленность, зона потенциального поражения, количество пострадавших, условная вероятность поражения, обязательное страхование.

ке количества погибших и раненых на примере аварий на магистральных газопроводах (МГ), неоднократно проверенный на опыте разработки соответствующих ДПБ и вполне применимый для автономной (вне рамок ДПБ) оценки. Он основан на построении так называемой зоны потенциального поражения (ЗПП) и предусматривает следующую последовательность действий:

расчет распределения в пространстве физических характеристик поражающих факторов с построением зон негативного воздействия (не путать с ЗПП!), характерных для рассматриваемого сценария аварии;

расчет условных вероятностей поражения людей при воздействии каждого поражающего фактора данного сценария с построением ЗПП на плане местности вокруг места аварии;

выбор доминантной (наибольшей по размерам) ЗПП;

расчет количества погибших и раненых для каждой категории реципиентов, попавших в доминантную ЗПП, с использованием граничных значений условных вероятностей поражения;

суммирование количества погибших и раненых по всем категориям реципиентов.

Рассмотрим подробнее указанные шаги.

При разрушениях МГ стандарт [2] рекомендует рассматривать сценарии в рамках следующих четырех типовых групп: пожар колонного типа в котловане (рис. 1, а); две горящие струи газа, истекающего из концов разрушенного МГ (рис. 1, б); истечение низкоскоростного шлейфа газа из котлована без воспламенения (рис. 1, в); две высокоскоростные струи газа без воспламенения (рис. 1, г).

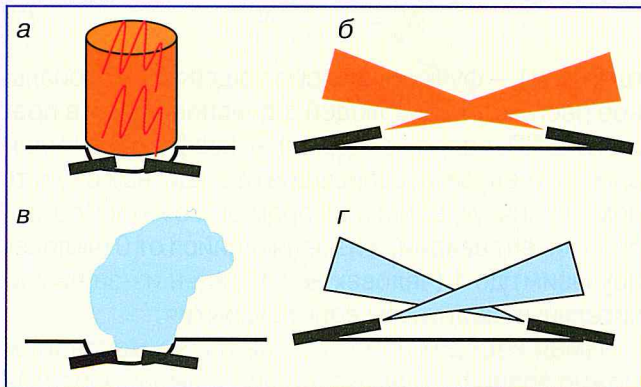


Рис. 1. Схемы типовых сценариев аварий на МГ

При сценариях без горения газа основные поражающие факторы, опасные для людей, — воздушная волна сжатия (ВВС), образующаяся при быстром расширении газа, истекающего из разрушенного трубопровода, и разлет осколков трубы. При сценариях с воспламенением газа к этим двум факторам прибавляется тепловая радиация от пламени пожара, которая в таких сценариях будет доминирующим поражающим фактором по отношению к двум другим, прежде всего, по признаку дальности негативного воздействия.

Допустим, рассматривается сценарий аварии «Пожар в котловане», для которого характерны все три упомянутых поражающих фактора. Для каждого из них рассчитывается и при необходимости строится на плане местности вокруг места аварии территориальное распределение: избыточного давления на фронте ВВС $\Delta P_{\phi}(x, y)$; удельного теплового потока облучения от пожара $q(x, y)$; дальности разлета осколков трубы $r(x, y)$. Методики с описанием соответствующих математических моделей для расчета этих распределений (или зон негативного воздействия) — предмет отдельного обсуждения, а для целей данной статьи будем полагать, что указанные территориальные распределения (зоны) рассчитаны.

Получив значения $\Delta P_{\phi}(x, y)$, $q(x, y)$, $r(x, y)$ в каждой заданной точке $E(x, y)$ территории вокруг места разрушения МГ, можно в этих же точках рассчитать условные вероятности поражения человека и построить ЗПП. Под ЗПП понимается зона территориального (на уровне земли) распределения условных вероятностей поражения человека заданным поражающим фактором аварии, ограниченная изолинией условной вероятности гибели человека, равной 0,01 (1%). При этом единой целевой степенью поражения человека при расчетах условных вероятностей поражения является летальный исход (гибель человека).

Способ расчета условных вероятностей поражения, а также форма ЗПП (рис. 2) зависят от расчетного сценария аварии, вида поражающего фактора и соответствующего критерия поражающего воздействия.

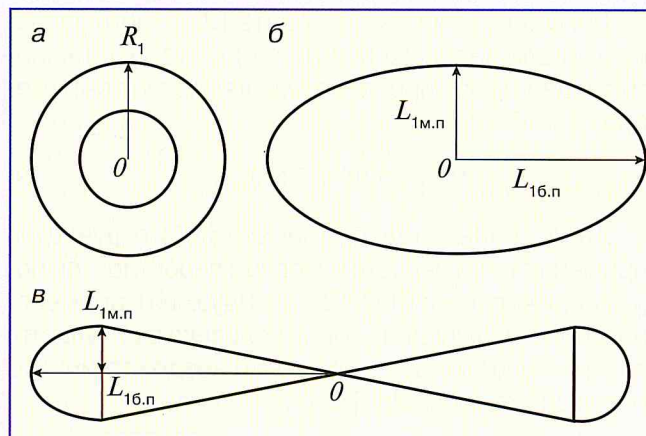


Рис. 2. Формы ЗПП:

а — при разлете осколков или ВВС, или вертикальном пожаре в котловане; б — при наклонном пожаре в котловане; в — при противоположно направленных горящих струях газа; O — точка разрыва МГ; R_1 — радиус круговой ЗПП (соответствующий радиусу зоны 1%-ного поражения); $L_{1м.п}$, $L_{1б.п}$ — длина соответственно малой и большой полуосей ЗПП

Для поражающего фактора «Разлет осколков» условная вероятность поражения отождествляется с вероятностью $P_{\text{оск}}$ попадания осколка в человека (моделируемого в виде цилиндра высотой $h_{\text{об}} = 1,8$ м с диаметром основания $b_{\text{об}} = 0,6$ м), которая, например, для случая вылета из котлована одного осколка рассчитывается по формуле

$$P_{\text{оск}}(r) = \frac{2L_{\text{оск}} + b_{\text{об}}}{2\pi r} \sin\left(\arctg \frac{h_{\text{об}} + L_{\text{оск}}/2}{r}\right), \quad (1)$$

где r — расстояние от точки разрыва МГ до точки $E(x, y)$ расположения человека, м; $L_{\text{оск}}$ — характерный размер осколка, м.

В стандартах [2, 3] приведены соответствующие формулы для случаев разлета большего числа осколков.

При воздействии на людей тепловой радиации критерием будет тепловая доза $D_{\text{чел}}$, $(\text{Вт}/\text{м}^2)^{4/3} \cdot \text{с}$, рассчитываемая через тепловой поток в точке нахождения человека и время экспозиции. Подставляя $D_{\text{чел}}$ в выражение специально подобранной для данной категории реципиентов пробит-функции $\text{Pr} = a + b \ln D_{\text{чел}}$ (где a, b — эмпирические коэффициенты, зависящие от вида воздействия и восприимчивости к нему людей), можно получить значение пробита Pr , которое далее фигурирует в качестве аргумента в интеграле Гаусса, позволяющего рассчитать условную вероятность гибели $P_{\text{гиб}}$ человека в данной точке территории:

$$P_{\text{гиб}}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}-5} e^{-v^2/2} dv, \quad (2)$$

где v — переменная пробит-функции.

Рекомендуемая в стандарте [2] пробит-функция гибели человека в летней одежде от теплового воздействия определяется следующим выражением [2, 5]:

$$Pr = -36,38 + 2,65 \ln D_{\text{чел}} \quad (3)$$

Аналогичный подход (через пробит-функции) применяют при расчете условных вероятностей поражения человека ВВС. Рекомендуемая к применению пробит-функция гибели человека в результате травмы головы при метательном воздействии ВВС определяется как [2, 6]

$$Pr = -6,04 + 7,11 \ln(-9,12318 + 0,33881 \Delta P_{\phi} - 2,96 \cdot 10^{-3} \Delta P_{\phi}^2 + 9,8788 \cdot 10^{-6} \Delta P_{\phi}^3), \quad (4)$$

где ΔP_{ϕ} — избыточное давление на фронте воздушной волны сжатия, Па.

Расчет в каждой точке территории значений условных вероятностей поражения дает возможность построить ЗПП в виде изолиний этих вероятностей (рис. 3). После построения ЗПП для каждого поражающего фактора рассматриваемого сценария аварии из них выбирают зону с наибольшими размерами (для сценария «Пожар в котловане» это зона от тепловой радиации) и именно в ее пределах оценивают число пострадавших.

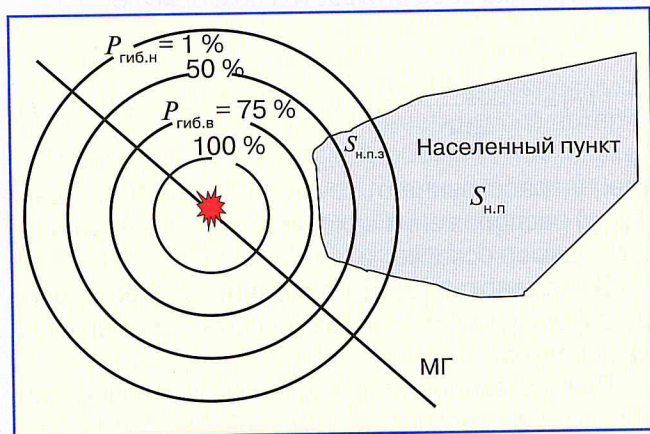


Рис. 3. ЗПП людей при аварии на МГ

Расчет количества пострадавших $N_{\text{постр}}$, в том числе погибших $N_{\text{гиб}}$ и раненых $N_{\text{р}}$, в доминантной ЗПП площадью S_1 (т.е. в пределах изолинии 1%-ного поражения) осуществляется по следующим формулам:

$$N_{\text{постр}} = \int_{S_1} \mu_d(x, y) v_{\text{уяз}}(x, y) ds; \quad (5)$$

$$N_{\text{гиб}} = \int_{S_1} \mu_d(x, y) v_{\text{уяз}}(x, y) P_{\text{гиб}}(x, y) ds; \quad (6)$$

$$N_{\text{р}} = N_{\text{постр}} - N_{\text{гиб}}, \quad (7)$$

где $\mu_d(x, y)$ — функция, описывающая территориальное распределение людей в дневное время в пределах ЗПП, чел/км²; $v_{\text{уяз}}(x, y)$ — коэффициент уязвимости человека, зависящий от защитных свойств помещения, укрытия, в котором он может находиться в момент аварии, и изменяющийся от 0 (человек неуязвим) до 1 (человек не защищен из-за незначительных защитных свойств укрытия).

Имея изображения ЗПП на плане местности, можно трансформировать общие выражения (5)–(7) в простые формулы для разных реципиентов (жители населенных пунктов, рабочие на сельхозугодьях, водители и пассажиры автотранспортных средств на пересекающих МГ автодорогах, пассажиры поездов на пересекающих МГ железных дорогах и др.).

Для населенного пункта (см. рис. 3) общее число пострадавших $N_{\text{н.п.постр}}$ рассчитывают по формуле

$$N_{\text{н.п.постр}} = N_{\text{н.п.}} (S_{\text{н.п.з}} / S_{\text{н.п.}}), \quad (8)$$

где $N_{\text{н.п.}}$ — общее число жителей населенного пункта площадью $S_{\text{н.п.}}$ (км²); $S_{\text{н.п.з}}$ — площадь населенного пункта, попадающая в пределы превалирующей ЗПП и находящаяся между граничными изолиниями условной вероятности поражения $P_{\text{гиб.н}}$ и $P_{\text{гиб.в}}$, ограничивающими всю поражаемую область населенного пункта, км².

Количество погибших $N_{\text{н.п.гиб}}$ и раненых $N_{\text{н.п.р}}$ для этого случая рассчитывают по формулам:

$$N_{\text{н.п.гиб}} = N_{\text{н.п.постр}} \cdot 0,5 (P_{\text{гиб.н}} + P_{\text{гиб.в}}); \quad (9)$$

$$N_{\text{н.п.р}} = N_{\text{н.п.постр}} - N_{\text{н.п.гиб}}. \quad (10)$$

Общее число пострадавших работников на сельхозугодьях, пересекаемых газопроводом (рис. 4, а), рассчитывают по формуле

$$N_{\text{сх.постр}} = d_{\text{сх}} S_{\text{сх}1}, \quad (11)$$

где $d_{\text{сх}}$ — средняя плотность работающих на сельхозугодьях вдоль МГ во время посевных, прополочных и уборочных работ, включая водителей сельхозтехники (допускается в качестве $d_{\text{сх}}$ принимать среднесезонную по административному району, в котором расположен МГ, плотность сельхозработников на обрабатываемых землях независимо от вида сельхозкультуры), чел/км²; $S_{\text{сх}1}$ — площадь ЗПП, ограниченная изолинией 1%-ного поражения и границами сельхозугодий (т.е. площадь участка земли — пересечение ЗПП и территории сельхозугодий), км².

Число погибших сельхозработников рассчитывают по формуле

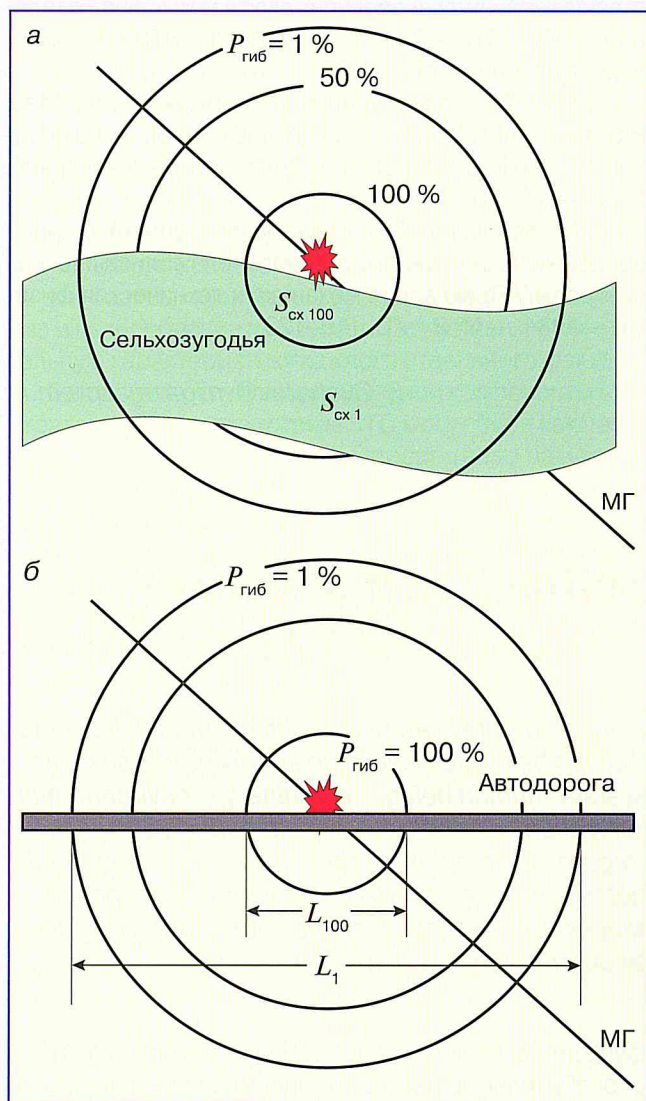


Рис. 4. Схема к расчету числа пострадавших от аварии на МГ на сельхозугодьях (а) и автодорогах (б)

$$N_{\text{сх.гиб}} = d_{\text{сх}} S_{\text{сх.100}} + d_{\text{сх}} (S_{\text{сх.1}} - S_{\text{сх.100}}) \cdot 0,5, \quad (12)$$

где $S_{\text{сх.100}}$ — площадь ЗПП, ограниченная изолинией 100%-ного поражения и границами сельхозугодий (т.е. площадь участка земли — пересечение зоны 100%-ного поражения и территории сельхозугодий), км².

Количество раненых определяется как разность между $N_{\text{сх.постр}}$ и $N_{\text{сх.гиб}}$.

При оценке количества пострадавших среди водителей и пассажиров автотранспортных средств на пересекающих МГ автодорогах приходится дополнительно учитывать скорость и интенсивность движения транспорта (рис. 4, б). В соответствующих формулах (в отличие от выражений для площадных объектов поражения, описанных выше) используются не граничные значения условной вероятности, а характерные размеры зон 1%-ного и 100%-ного поражения. При этом принимаются до-

пущения: разрыв МГ происходит в ближайшей к полотну дороги точке вне патрона (защитного кожуха), транспортные средства не обеспечивают защиты находящихся в них людей от воздействия поражающего фактора ($v_{\text{уяз}} = 1$), среднее число людей в транспортном средстве составляет три человека. Общее число пострадавших при этом рассчитывают по формуле

$$N_{\text{ад.постр}} = 3L_1 \omega_{\text{тр}} / v_{\text{тр}}, \quad (13)$$

где L_1 — длина отрезка автодороги в пределах ЗПП, км; $\omega_{\text{тр}}$ — средняя интенсивность движения транспортных средств (принимается в соответствии со СНиП 2.02.06—85* для дорог разных категорий), шт/ч; $v_{\text{тр}}$ — средняя скорость движения транспортных средств по автодороге, км/ч (рекомендуется принимать для дорог I категории $v_{\text{тр}} = 70$ км/ч, II — 60 км/ч; III — 50 км/ч; IV, V — 40 км/ч).

Число погибших водителей и пассажиров:

$$N_{\text{ад.гиб}} = 1,5(L_{100} + L_1) \omega_{\text{тр}} / v_{\text{тр}}, \quad (14)$$

где L_{100} — длина отрезка автодороги в пределах зоны абсолютного (100%-ного) поражения (для круговых ЗПП $L_{100} = 2R_{100}$, где R_{100} — радиус круговой зоны абсолютного поражения), км. Число раненых определяется как разность между $N_{\text{ад.постр}}$ и $N_{\text{ад.гиб}}$.

Аналогично с использованием ЗПП оценивают число пострадавших на пересечениях МГ с железными дорогами, а также на транспортных магистралях, проходящих вблизи газопроводов или других ОПО ГП.

После расчета числа пострадавших по каждой категории реципиентов, которые могут подвергаться негативному воздействию от доминантного поражающего фактора при реализации рассматриваемого сценария аварии на ОПО (в данном случае — на участке МГ), значения складывают и получают общее количество пострадавших при данном сценарии.

Таким образом, предложен и нормативно закреплен относительно простой методический подход, позволяющий оценить количество пострадавших при авариях на ОПО ГП через расчет и построение ЗПП на плане местности и использовать результаты для определения страховых сумм в договорах обязательного страхования ответственности владельцев ОПО за причинение вреда от возможных аварий.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте»// Россий-

ская газета — Федеральный выпуск. — № 169 (5248). — 2010. — 2 авг.

2. *СТО Газпром 2-2.3-351—2009*. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». — М.: ООО «Газпром Экспо», 2009.

3. *СТО Газпром 2-2.3-400—2009*. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром». — М.: ОАО «Газпром», 2009.

4. *РД-03-14—2005*. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производ-

ственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. — Сер. 27. — Вып. 4. — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. — 28 с.

5. *Lees F.P.* Los prevention in the process industries. Hazard identification, assessment and control. — 3rd ed. — Vol. 1. — Oxford, UK, Elsevier Butterworth — Heinemann, 2005. — 1454 p.

6. *Котляревский В.А.* Метание воздушной ударной волной незакрепленного твердого тела вблизи плоской преграды// Прикладная механика и техническая физика. — 1984. — № 2. — С. 119–128.

S_Ovcharov@vniigaz.gazprom.ru

УДК 629.7.07.004.2

© Н.С. Севрюгина, 2011

ИНФОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН



Н.С. Севрюгина, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)

The problem is reviewed of ensuring complex safety of technical means from the position of systems analysis of the human being life-sustaining activity processes. Info-graphical model of the functional system «human being — machinery — environmental conditions» is formed. Intercommunication link of the system elements is shown, and the selection is substantiated with regards to complex safety as an accent component. For system safe functioning, the factor of the system adaptive estimate is proposed.

Ключевые слова: система, человек, техника, акцентированность, инфографическая модель, приспособительная оценка, комплексная безопасность.

Во всем разнообразии функциональных систем мироздания развитие цивилизации, идущее техногенным путем, можно представить в виде инфографической модели (триады), формирующей взаимосвязь системы «человек — техника — среда обитания» (ЧТС).

Инфографические модели позволяют формировать потоки событий функционирования систем, акцентированные компоненты которых имеют существенные семантические отличия, т.е. обладают свойством разнообразия. Как показывает опыт, мир движется в сторону его усложнения (разнообразие стимулирует рост разнообразия, подчиняясь законам вариативности), которое может быть представлено в виде выражения [1]:

$$R_t = R_{t_0} e^{at}, \quad (1)$$

где R_t — текущее значение разнообразия; R_{t_0} — условно принятое за начальное значение разнообразия; a — постоянная; t — время, отсчитываемое от момента, соответствующего R_{t_0} .

Установлено, что системообразующим, упорядочивающим множество событий фактором и делающим

функциональную систему ЧТС является полезный приспособительный результат. Инфографическая модель функциональной системы «человек — техника — среда обитания» [2] представлена на рисунке.

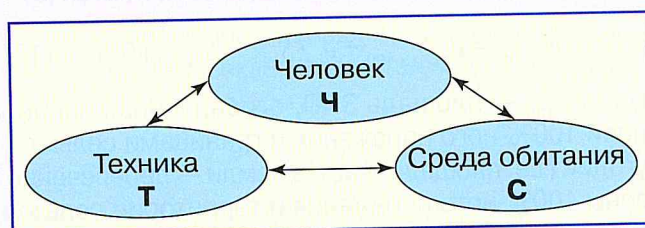


Схема инфографической модели функциональной системы «человек — техника — среда обитания»

Каждое событие имеет две стороны: процесс (смену состояний) и его субстрат — то, в чем произошел (происходит, будет протекать) этот процесс [2].

При построении модели отдельно взятой структурной иерархии процессов рассматриваются ступени изменения закономерностей моносемантических процессов, которые представлены в типовых структурных иерархических схемах. При моделировании сложных полисемантических комплексных процессов требуется дополнительный «набор»