

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНО ВЗРЫВООПАСНОГО ОБЪЕКТА. ЧАСТЬ 1

Волков В.Э., канд. физ.-мат. наук, доцент

Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

*Произвольный потенциально взрывоопасный объект рассмотрен с позиций системного анализа как сложная иерархическая система. Произведен первый этап разработки информационной модели этой системы – ее структурирование.*

*Arbitrary potentially explosive object is considered from the point of view of the system analysis as the complex hierarchical system. The first stage of elaboration of the information model for this complex system is fulfilled: the system is structured.*

Ключевые слова: взрывоопасность, потенциально взрывоопасный объект, сложная система, информационная модель, структурирование.

Произвольный потенциально взрывоопасный объект (ПВОО) может рассматриваться с позиций системного анализа как сложная система, архитектура которой складывается из некоторых компонентов (подсистем) и из иерархических отношений этих компонентов. Собственно говоря, иерархичность является первым признаком сложной системы [1,2], так как только системы с иерархической структурой могут быть в принципе исследованы.

Первым этапом разработки информационной модели системы является ее структурирование.

Рассматриваемый в данной задаче сложный потенциально взрывоопасный объект будем считать потенциально взрывоопасным объектом нулевого уровня с номером 1 (ПВОО\_0\_1). Этот объект может быть разделен на подсистемы – потенциально взрывоопасные объекты 1-го уровня (ПВОО\_1), каждый из которых имеет свой индивидуальный номер  $n_1$  ( $2 \leq n_1 \leq m_1$ ), где количество ПВОО\_1 равно  $m_1-1$ ; потенциально взрывоопасные объекты 1-го уровня обозначим как ПВОО\_1\_2, ПВОО\_1\_3, ..., ПВОО\_1\_ $m_1$ .

Некоторые из ПВОО\_1 (например, ПВОО\_1\_ $i_1$ , ПВОО\_1\_ $i_2$ , ..., ПВОО\_1\_ $i_k$ , где  $2 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq m_1$ ) также могут быть разделены на подсистемы – потенциально взрывоопасные объекты 2-го уровня (ПВОО\_2), которые нумеруются следующим образом: ПВОО\_2\_ $j_1$ , ПВОО\_2\_ $j_2$ , ..., ПВОО\_2\_ $j_r$ , причем

ПВОО\_2\_ $j_1$ , ПВОО\_2\_ $j_2$ , ..., ПВОО\_2\_ $j_p$  ( $j_1=m_1+1, j_2=m_1+2, \dots, j_p=m_1+p$ ) есть ПВОО\_2, являющиеся подсистемами ПВОО\_1\_ $i_1$  (количество таких ПВОО\_2 равно  $p$ );

ПВОО\_2\_ $j_{p+1}$ , ПВОО\_2\_ $j_{p+2}$ , ..., ПВОО\_2\_ $j_q$  ( $j_q=j_p+q=m_1+p+q$ ) есть ПВОО\_2, являющиеся подсистемами ПВОО\_1\_ $i_2$  (количество таких ПВОО\_2 равно  $q$ );

.....  
ПВОО\_2\_ $j_s$ , ПВОО\_2\_ $j_{s+1}$ , ..., ПВОО\_2\_ $j_r$  есть ПВОО\_2, являющиеся подсистемами ПВОО\_1\_ $i_k$  (количество таких ПВОО\_2 равно некоторому  $s$ , а общее число ПВОО\_2 равно  $r$ , причем  $r=p+q+\dots+s, j_r=m_1+r$ ; если принять обозначение  $m_2=j_r$ , то общее число ПВОО\_2 равно  $m_2-m_1$ , а  $m_2$  есть общее количество потенциально взрывоопасных объектов уровня не выше 2-го).

Некоторые из ПВОО\_2 также могут быть разделены на подсистемы – потенциально взрывоопасные объекты 3-го уровня (ПВОО\_3), которые нумеруются следующим образом: ПВОО\_3\_ $l_1$ , ПВОО\_2\_ $l_2$ , ..., ПВОО\_2\_ $l_f$ , причем  $l_1=m_2+1, l_2=m_2+2, \dots, l_f=m_2+f$ , и так далее.

Все ПВОО уровня  $\alpha$  (ПВОО\_ $\alpha$ ) имеют номера большие, чем любой ПВОО уровня  $\beta$ , если выполнено условие  $\alpha > \beta$ .

Очевидно, что если у некоторого ПВОО\_\* есть подсистемы, то их должно быть не меньше 2-х.

Общее количество подуровней в сложном потенциально взрывоопасном объекте (который сам считается объектом нулевого уровня) в принципе не ограничено и во многом определяется разработчиком информационной модели. Разработчик, в свою очередь, ориентируется на конкретику объекта и особенности постановки задачи по обеспечению взрывобезопасности. Общая структура сложного потенциально взрывоопасного объекта показана на Рис. 1.а., а на Рис. 1.б как пример показан сложный потенциально взрывоопасный объект с тремя подуровнями. Нумерация уровней идет «сверху-вниз», т.е. более низкий уровень имеет больший номер.

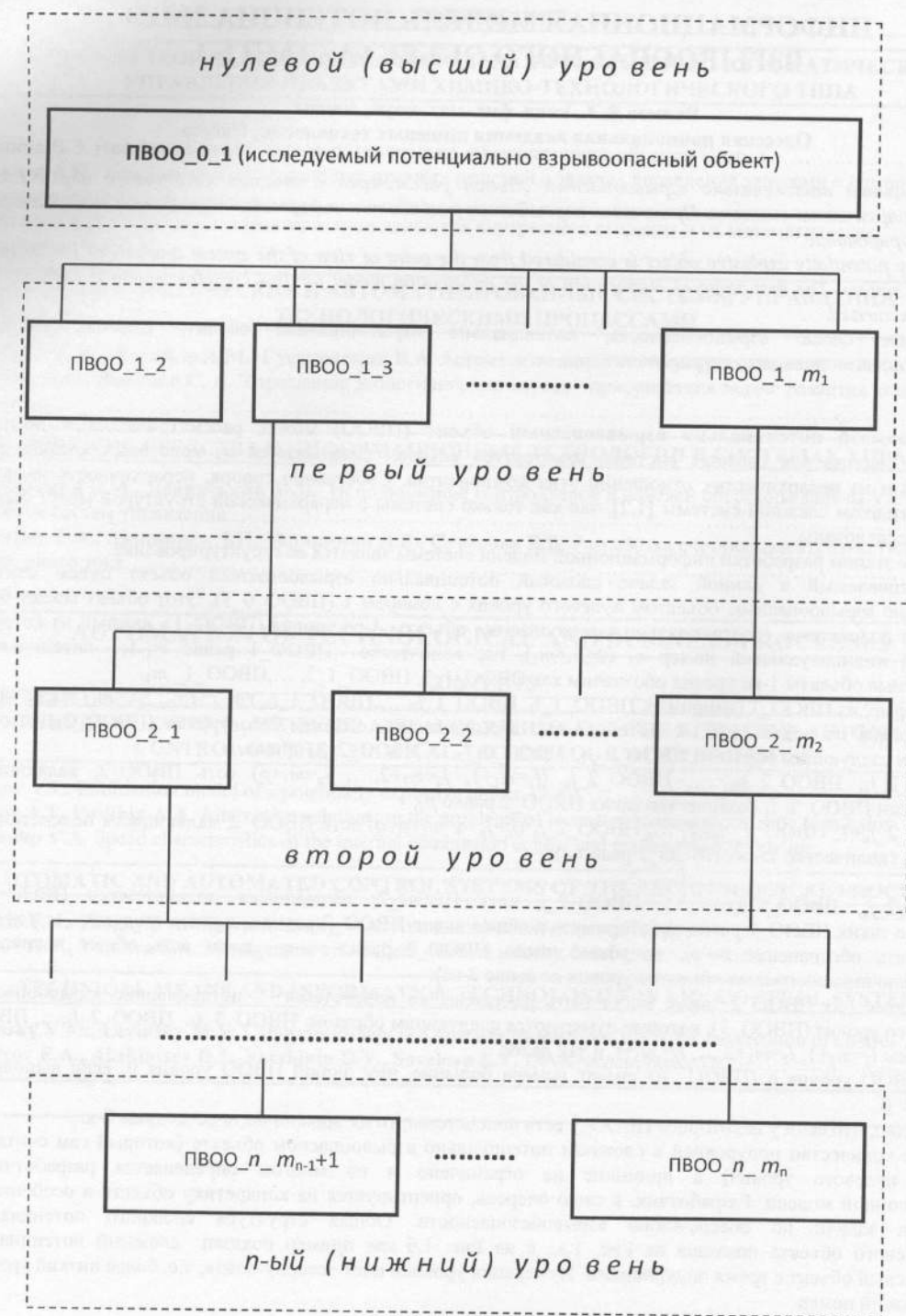
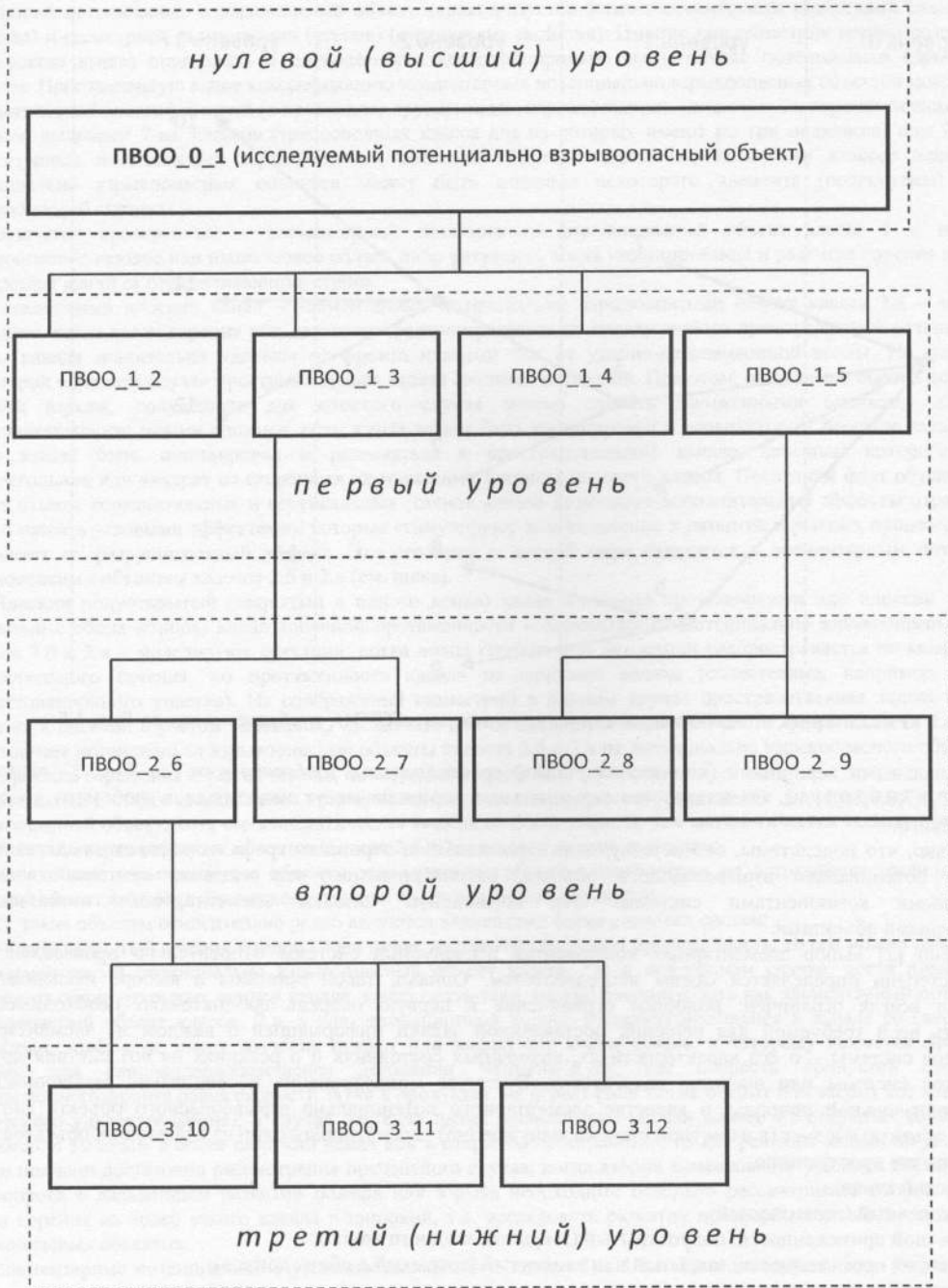


Рис. 1.а. Общая структура сложного потенциально взрывоопасного объекта



**Рис. 1.б.** Структура сложного потенциально взрывоопасного объекта с тремя подуровнями

Вполне очевидно, что обобщенная структура сложного потенциально взрывоопасного объекта может быть представлена ориентированным деревом (связным ациклическим графом) [3,4] с корнем, соответствующим ПВОО\_0\_1. Этот граф (дерево) является упорядоченным графом [1,3,4]; исходящие степени всех вершин, кроме терминальных (т.е. кроме конечных узлов) не меньше 2.

На Рис. 2 представлено графовое изображение структуры сложного потенциально взрывоопасного объекта, показанного выше на Рис. 1.б.

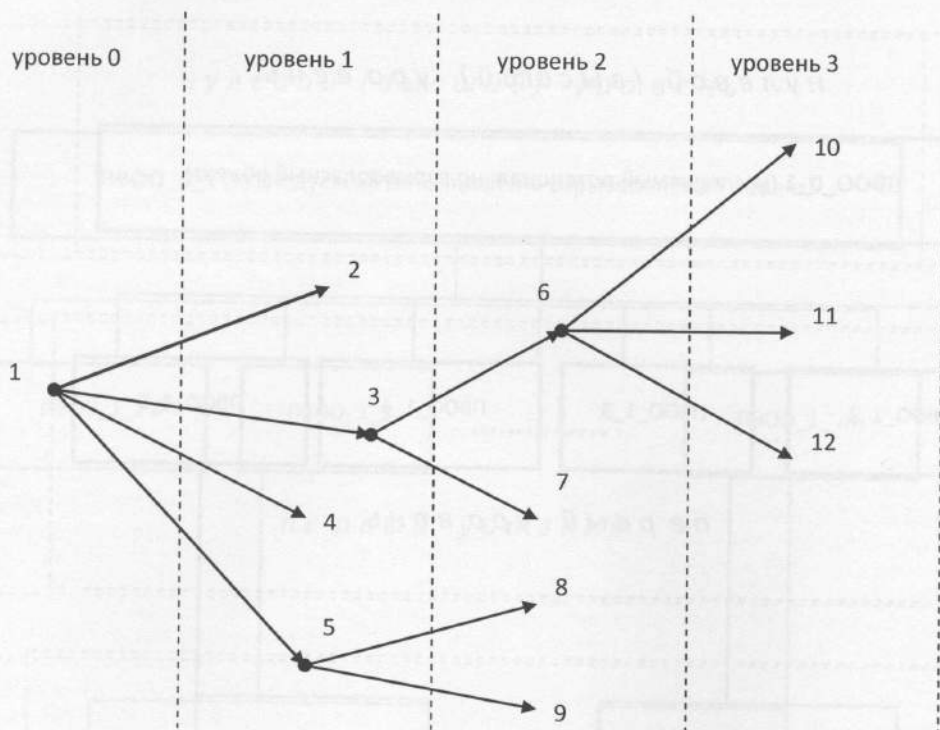


Рис. 3. Граф, описывающий структуру сложного ПВОО, изображенного на Рис. 1.6

Терминальными вершинами (концевыми узлами) графа (дерева), изображенного на Рис. 3 являются вершины 2,4,7,8,9,10,11,12. Очевидно, что терминальные вершины могут находиться в любом из уровней, кроме нулевого.

Очевидно, что подсистемы, соответствующие терминальным вершинам графа в графовом представлении структуры потенциально взрывоопасного объекта, рассматриваемого как сложная система, являются элементарными компонентами системы. Эти компоненты назовем элементарными потенциально взрывоопасными объектами.

Согласно [2] выбор элементарных компонентов исследуемой системы относительно произволен и в большей степени определяется самим исследователем. Однако, такой произвол в выборе исследователя фактически всегда ограничен: подобное ограничение в первую очередь продиктовано необходимостью располагать всей требуемой для решения поставленной задачи информацией о каждом из элементарных компонентов системы – о его характеристиках, возможных состояниях и о реакциях на воздействия других компонентов системы или внешние воздействия. В случае моделирования потенциально взрывоопасного объекта произвольной природы, в качестве элементарного потенциально взрывоопасного объекта (модели реального объекта) следует (в известной степени вынужденно) рассматривать один из следующих объектов:

1. Открытое пространство;
2. Плоский канал:
  - а) бесконечный (незамкнутый),
  - б) конечной протяженности, полуоткрытый (закрытый с одного конца),
  - в) конечной протяженности, закрытый или замкнутый (закрытый с обоих концов);
3. Круглая цилиндрическая труба:
  - а) бесконечная (незамкнутая),
  - б) конечной протяженности, полуоткрытая (закрытая с одного конца),
  - в) конечной протяженности, закрытая или замкнутая (закрытая с обоих концов).

Выбор таких потенциально взрывоопасных объектов в качестве элементарных обусловлен следующими соображениями:

1. Для объектов вида 1-3 разработаны математические модели [5-11], позволяющие оценивать возможность развития взрыва в каждом из таких объектов.

2. Практически любой реальный потенциально взрывоопасный объект может быть промоделирован композицией (сочетанием) данных элементарных потенциально взрывоопасных объектов.

3. Реальные потенциально взрывоопасные объекты или их компоненты (подсистемы) легко идентифицируются как указанные выше элементарные потенциально взрывоопасные объект.

Любой потенциально взрывоопасный объект характеризуется физико-химическими свойствами (динамические свойства) и геометрией своих границ (стенки) (статические свойства). Именно вид геометрии границ позволяет (как это сделано выше) определить и одновременно классифицировать элементарные потенциально взрывоопасные объекты. Произведенную выше классификацию элементарных потенциально взрывоопасных объектов можно считать топологической классификацией (в противовес другим видам классификации – системной и параметрической). Таким образом, выделены 7-мь классов (три основных класса два из которых имеют по три подкласса) или 7-мь видов элементарных потенциально взрывоопасных объектов. Объект каждого из этих 7-ми классов элементарных потенциально взрывоопасных объектов может быть моделью некоторого элемента (подсистемы) реальной взрывоопасной системы.

Открытое пространство – элементарный потенциально взрывоопасный объект класса 1 – моделирует взрывоопасное газовое или пылегазовое облако либо ситуацию, когда инициирование и развитие горения или взрыва происходит вдали от ограничивающих стенок.

Бесконечный плоский канал – элементарный потенциально взрывоопасный объект класса 2.а – моделирует ситуацию, когда волна горения или детонации распространяется по каналу любого прямоугольного сечения, причем концы канала значительно удалены от фронта пламени или от ударно-детонационной волны. Из соображений симметрии в данном случае пространственная задача сводится к плоской. При этом, однако, все оценки достаточных условий взрыва, полученные для плоского случая можно считать заниженными оценками для случая пространственного: иными словами, если взрыв может быть инициирован и развиваться в плоском канале, он тем более может быть инициирован и развиваться в пространственном канале, сечением которого является прямоугольник или квадрат со сторонами не меньшими ширины плоского канала. Последний факт обусловлен тем, что на стыках горизонтальных и вертикальных стенок канала возникают дополнительные эффекты отражения (их можно назвать угловыми эффектами), которые стимулируют возникновение и развитие взрывных процессов, а также усиливают их разрушительный эффект. Эта оговорка в полной мере относится к элементарным потенциально взрывоопасным объектам классов 2.б и 2.в (см. ниже).

Плоский полуоткрытый (закрытый с одного конца) канал конечной протяженности или плоский замкнутый (закрытый с обоих концов) канал конечной протяженности – элементарные потенциально взрывоопасные объекты классов 2.б и 2.в – моделируют ситуации, когда волна горения или детонации распространяется по каналу любого прямоугольного сечения, но протяженность канала не слишком велика (сопоставима, например, с длиной преддетонационного участка). Из соображений симметрии в данном случае пространственная задача опять-таки сводится к плоской с учетом замечания, сделанного для потенциально взрывоопасного объекта класса 2.а. Главное, что отличает потенциально взрывоопасные объекты классов 2.б и 2.в от потенциально взрывоопасного объект класса 2.а – эффекты отражения и т.п. на концах, называемые торцевыми эффектами.

Открытый с обоих концов канал конечной протяженности не рассматривается как элементарный потенциально взрывоопасный объект, хотя его математическая модель не более сложна, чем математическая модель элементарных потенциально взрывоопасных объектов класса 2.б и 2.в, по следующим причинам:

1) подобные взрывоопасные объекты как отдельные объекты практически не встречаются (если представить себе этот объект как сосуд с топливом, топливо будет неизбежно вытекать);

2) такие объекты относительно редко являются элементами более сложных систем;

3) если открытый с обоих концов канал имеет достаточно большую протяженность, то его можно рассматривать как элементарный потенциально взрывоопасный объект класса 2.а; в предельном случае, когда пламя заметно удалено от обоих открытых концов канала, канал опять-таки можно рассматривать как элементарный потенциально взрывоопасный объект класса 2.а, а для детонационной волны, распространяющейся в канале со сверхзвуковой скоростью, вообще не имеет значения открыт или закрыт тот конец канала, к которому движется фронт волны (причем для самоподдерживающейся детонации Чепмена-Жуге, где скорость продуктов относительно детонационного фронта равна скорости звука в продуктах, не играет роли также открыт или закрыт тот конец канала, от которого удаляется фронт); в случае же, если пламя расположено вблизи одного из открытых концов канала, например, с выходом в более широкий канал или в открытое пространство, то для решения задачи об устойчивости такого пламени достаточно рассмотрения предельного случая, когда второй конец канала удален в бесконечность, а для вопроса о дальнейшем развитии пожара или взрыва необходимо отдельно рассматривать вопрос о переходе волны горения из более узкого канала в широкий, т.е. исследовать развитие процесса на стыке 2-х потенциально взрывоопасных объектов.

Элементарные потенциально взрывоопасные объекты класса 3.а, 3.б и 3.в моделируют газо-, нефте- и другие материалопроводы круглого сечения. Принципиальное отличие элементарных потенциально взрывоопасных объектов класса 3 от соответствующих элементарных потенциально взрывоопасных объектов класса 2 состоит в том, что для объектов класса 3 задача математического моделирования и анализа взрывных процессов и горения хотя и симметрична, но существенно трехмерна и не может быть сведена непосредственно к двумерной. К тому же течение газа вдоль оси трубы всегда имеет математическую особенность.

Открытая с обоих концов труба конечной протяженности не рассматривается как элементарный потенциально взрывоопасный объект, хотя ее математическая модель не сложнее математических моделей элементарных потенциально взрывоопасных объектов класса 3.б и 3.в, по тем же причинам, что относятся к открытому с обоих концов (плоскому) каналу конечной протяженности (см. выше).

Элементарные потенциально взрывоопасные объектов класса 2 и 3 могут моделировать не только каналы прямоугольного сечения и трубы круглого сечения соответственно, но, и трубы эллиптического сечения. При этом

если длина большой полуоси эллипса в сечении трубы незначительно превышает длину его малой полуоси, то трубу можно моделировать трубой круглого сечения с радиусом круга, равным длине большой полуоси эллипса, т.е. потенциально взрывоопасным объектом класса 3; если же длина большой полуоси эллипса в сечении трубы значительно превосходит длину его малой полуоси, то трубу можно моделировать каналом прямоугольного сечения с прямоугольником, в который может быть вписан данный эллипс, а такой канал, в свою очередь, моделируется одним из потенциально взрывоопасных объектов класса 2.

Рассмотрим вопрос полноты приведенной выше классификации элементарных потенциально взрывоопасных объектов. Вполне очевидно, что единственным достаточно часто встречающимся элементом реальных потенциально взрывоопасных объектов, не охваченным 7-ю вышеуказанными классами, является круглая труба с изгибом. Взрывоопасность труб даже с плавным изгибом существенно выше, чем для прямых труб. Детальное рассмотрение этой проблемы показывает [12-14], что анализ взрывоопасности объекта, моделируемого изогнутой трубой круглого сечения, так или иначе сводится к анализу взрывоопасности объекта, который моделируется прямой трубой круглого сечения, т.е. одним из потенциально взрывоопасных объектов класса 3. Но при этом полученные оценки взрывоопасности являются весьма приблизительными.

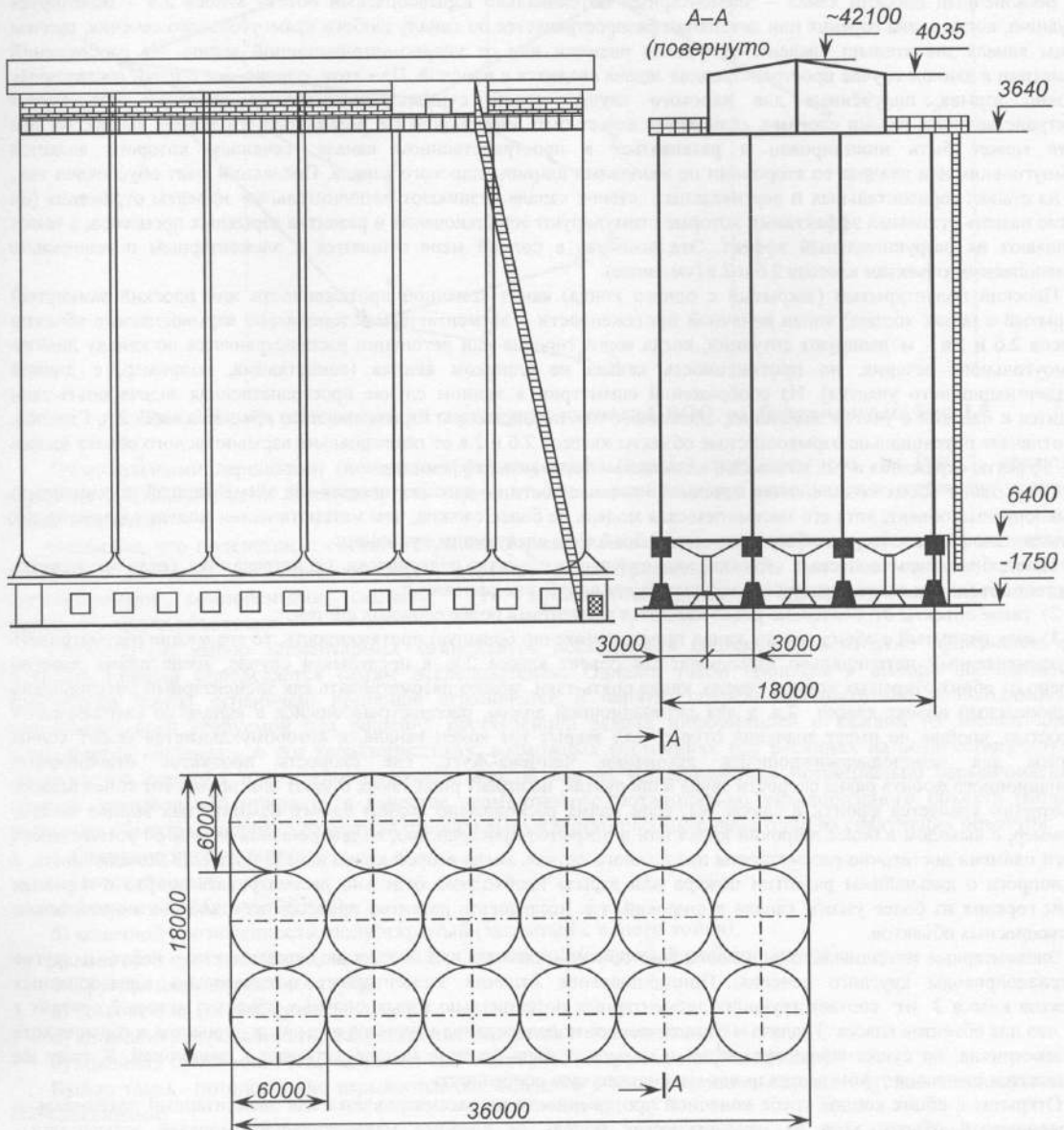


Рис. 4. Схема силосного корпуса СКМ-6

Сочетание идеализированных элементарных потенциально взрывоопасных объектов, каждый из которых является экземпляром одного из 7-ми вышеперечисленных классов, моделирует практически любой реальный

потенціально взривоопасний об'єкт. Таким образом, описанная выше структуризация (иерархизация) сложного потенциально взривоопасного объекта должна производиться таким образом, чтобы каждой терминальной вершине графа, описывающего созданную структуру (иерархию), соответствовал некоторый элементарный потенциально взривоопасный объект одного из классов 1–3.

В качестве примера рассмотрим как потенциально взривоопасный объект железобетонный трехрядный силосный корпус монолитной конструкции СКМ-6 [15], схема которого изображена на Рис. 4.

Как и любой силосный корпус, корпус СКМ-6 состоит из трех основных частей: нижнего (подсилосного) этажа; верхнего (надсилосного) этажа; собственно силосов для хранения зерна. Силосы возведены на подсилосной плите. Подсилосная плита, в свою очередь, устроена на колоннах, установленных на фундаментальной плите. Колонны расположены рядами в местах касания силосов таким образом, что каждый силос через подсилосную плиту опирается на 4-ре колонны. Пространство между подсилосной и фундаментальной плитами огражденное по внешним колоннам стенами, образует подсилосный этаж. Силосы в поперечном сечении имеют круглую форму и диаметр 6 м. Колонны, балки, плиты и стены подсилосного и надсилосного этажей – из сборного железобетона; фундаментальная плита – монолитная или сборно-монолитная.

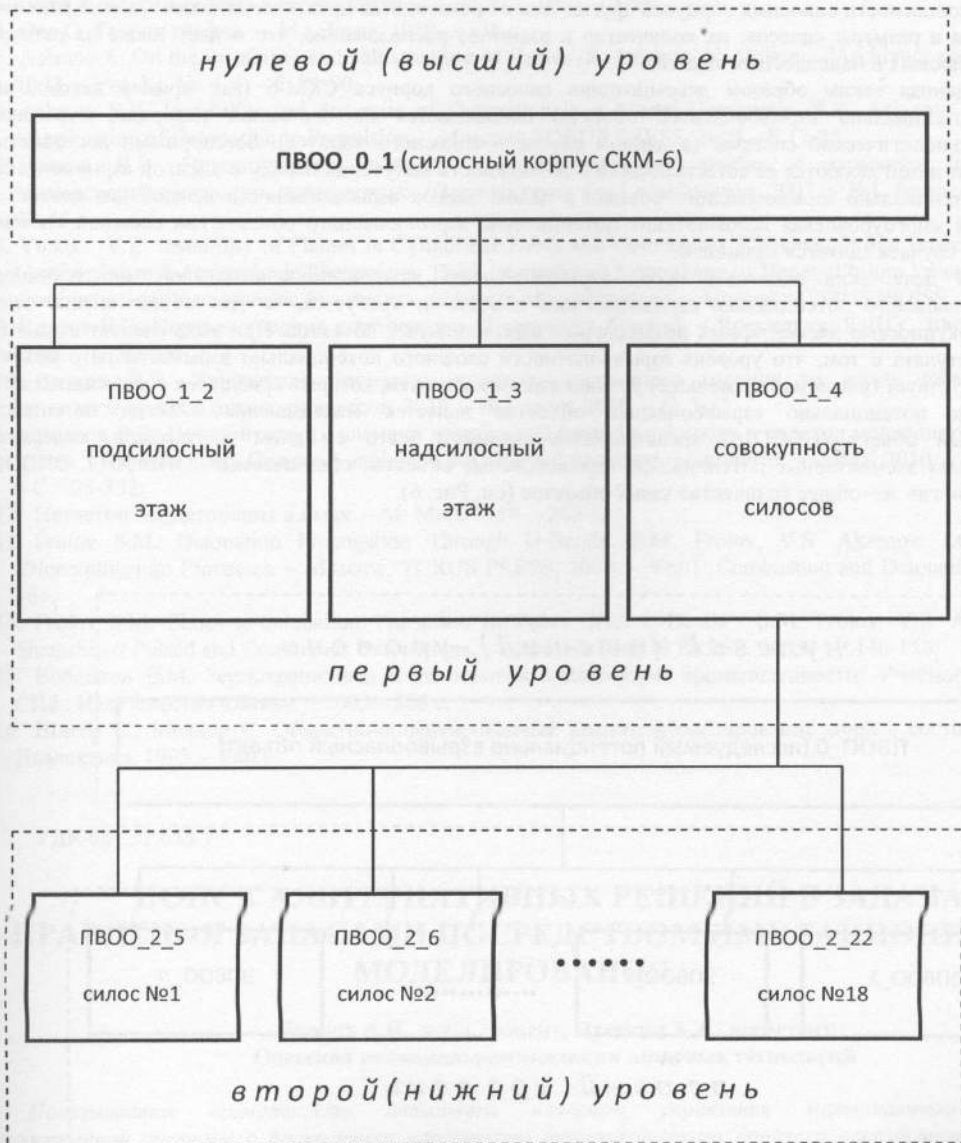


Рис. 5. Структура силосного корпуса СКМ-6 как сложного ПВОО

Данный объект может быть структурирован следующим образом (см. Рис. 5):

нулевой уровень – силосный корпус СКМ-6 в целом (ПВОО\_0\_1);  
 первый уровень – подсилосный этаж (ПВОО\_1\_2), надсилосный этаж (ПВОО\_1\_3) и совокупность силосов (ПВОО\_1\_4);  
 второй уровень – восемнадцать отдельно взятых силосов, абсолютно идентичных друг другу (ПВОО\_2\_5, ПВОО\_2\_6, ..., ПВОО\_2\_22).

Очевидно, что подсилосный и надсилосный этажи, а также каждый отдельно взятый силос являются элементарными потенциально взрывоопасными объектами. При этом подсилосный этаж (ПВОО\_1\_2) и надсилосный этаж (ПВОО\_1\_3) – при всей сложности их внутреннего устройства – моделируются как элементарные потенциально взрывоопасные объекты 2.в, а отдельные силосы (ПВОО\_1\_5, ПВОО\_1\_6, ..., ПВОО\_1\_22) моделируются как элементарные потенциально взрывоопасные объекты 3.в.

При оценке уровня взрывоопасности силосного корпуса в целом предварительно производятся оценки взрывоопасности подсилосного и надсилосного этажей и каждого отдельно взятого силоса; на базе оценки взрывоопасности отдельных силосов оценивается взрывоопасность всей совокупности силосов; и, наконец, на основе оценок взрывоопасности подсилосного и надсилосного этажей, а также оценки взрывоопасности всей совокупности силосов оценивается взрывоопасность всего силосного корпуса СКМ-6 (отметим, что оценки уровня взрывоопасности силосных корпусов других типов производятся практически также – могут изменяться только форма и размеры силосов, их количество и взаимное расположение, что влияет также на размеры и форму подсилосных и надсилосных этажей).

Произведенная таким образом декомпозиция силосного корпуса СКМ-6 (как пример декомпозиции сложного потенциально взрывоопасного объекта) основывается на системной иерархии, отражающей структуру технологической системы (в данном случае – силосного корпуса). Бесспорными достоинствами такой декомпозиции являются ее естественность и возможность получения наряду с оценкой взрывоопасности сложного потенциально взрывоопасного объекта в целом оценок взрывоопасности каждой его подсистемы. Однако такая многоуровневая декомпозиция потенциально взрывоопасного объекта как сложной системы в большинстве случаев является излишней.

В самом деле, если оценивать особо взрывоопасность каждой технологической или технической подсистемы сложного потенциально взрывоопасного объекта не требуется, то этот объект можно считать простой совокупностью элементарных потенциально взрывоопасных объектов. При этом следует исходить из простого постулата о том, что уровень взрывоопасности сложного потенциально взрывоопасного объекта в целом соответствует (равен или не меньше) уровню взрывоопасности, который среди всех содержащихся в нем элементарных потенциально взрывоопасных объектов является максимальным. Тогда потенциально взрывоопасный объект (ПВОО\_0) представляется системой всего с одним подуровнем, содержащим «равноправные» элементарные потенциально взрывоопасные объекты, обозначаемые ЭПВОО\_1, ЭПВОО\_2, ..., ЭПВОО\_n, где n – общее количество таких объектов (см. Рис. 6).

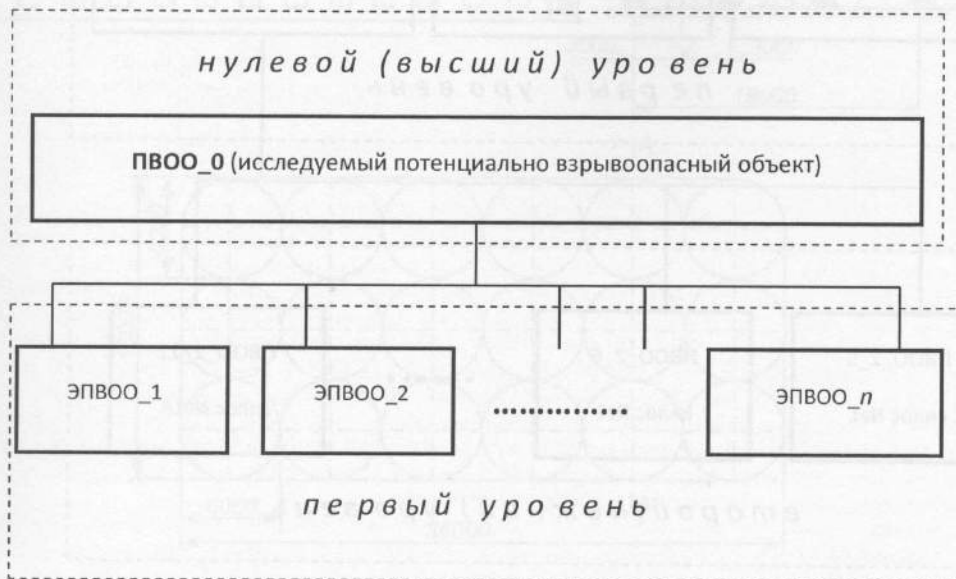


Рис. 6. Упрощенная структура сложного потенциально взрывоопасного объекта общего вида



В случае силосного корпуса СКМ-6 подсилосному этажу соответствует ЭПВОО\_1, надсилосному – ЭПВОО\_2, а восемнадцати отдельным силосам – ЭПВОО\_3, ..., ЭПВОО\_20.

#### Выводы

Таким образом, произведено иерархическое структурирование сложной взрывоопасной системы. Следующим после структурирования этапом в разработке информационной модели системы является идентификация концептуальных сущностей, или объектов, которые составляют подсистему для анализа [16]. В случае потенциально взрывоопасного объекта (ПВОО) в первую очередь необходимо идентифицировать ЭПВОО (с их атрибутами и связями).

#### Литература

1. Ладанюк А.П. Основы системного анализа: Навч. посібник. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
2. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Г. Буч, Р.А. Максимчук, М. У. Энгл и др. – М: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
3. Берж К. Теория графов и ее приложения. – М.:ИЛ, 1962. – 320с.
4. Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
5. Aslanov S. On the instability and cell structure of flames /S. Aslanov, V. Volkov //Archivum combustionis. – 1992. – Vol. 12, Nr. 1-4. – P. 81-90.
6. Aslanov S.K. Instability and Structure of Detonation in a Model Combustor /S.K. Aslanov, V.E. Volkov //Application of Detonation to Propulsion. – Moscow: TORUS PRESS, 2004.– P.17-25.
7. Волков В.Э. Неустойчивость пламени в цилиндрических трубах и взрывные процессы на зерноперерабатывающих предприятиях //Зернові продукти і комбікорми, 2007. – №1, березень 2007. – С. 43-45.
8. Volkov V.E. Instability of Flames in Cylindrical Tubes and Combustors // Nonequilibrium Processes: Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Third International Symposium of Nonequilibrium Processes, Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Abstracts of presentations. – Moscow: TORUS PRESS, 2007. – P.46.
9. Волков В.Э. Переход горения в детонацию //Екологічна безпека. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип.3-4, 2008. – С. 92-96.
10. Волков В.Э. Управление процессом перехода медленного горения во взрыв //Автоматизация технологических и бизнес-процессов, 2010. – №2, июнь 2010. – С. 5-13.
11. Волков В.Э. Неустойчивость пламени в идеальной сжимаемой среде и переход медленного горения во взрыв //Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2010. – Вип. 38. Т.1. – С. 325-332.
12. Нетлетон М. Детонация в газах. – М: Мир, 1989. – 280 с.
13. Frolov S.M. Detonation Propagation Through U-Bends /S.M. Frolov, V.S. Aksenov, I.O. Shamshin //Nonequilibrium Processes. – Moscow: TORUS PRESS, 2005. – Vol.1: Combustion and Detonation. – P. 348-364.
14. Frolov S.M. Shock-to-detonation Transition In Tubes With U-Bends / S.M. Frolov, V.S. Aksenov, I.O. Shamshin // Pulsed and Continuous Detonations. – Moscow: TORUS PRESS, 2006. – P.146-158.
15. Вобликов Е.М. Зернохранилища и технологии элеваторной промышленности: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань». – 2005.– 208 с.
16. Шлеер С., Меллор С. Объектно-ориентированный анализ: Моделирование мира в состояниях. – К.: Диалектика, 1993. – 240 с.

УДК 681.51:658.7

## ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Павлов А.И., к.т.н., доцент, Пушкин А.А., ассистент  
Одесская национальная академия пищевых технологий

*Показывается возможность повышения качества управления материальным потоком производственной системы с дискретным характером технологического процесса посредством релейного изменения интенсивности входящего потока межоперационного накопителя.*

*The possibility of increasing control quality of production line's material flow that has discrete behavior nature of the technological process by the means of input stream intensity on-off alteration.*

Ключевые слова: запас, массовое обслуживание, автоматическое управление.