

**Н.В. МАКСЮТА**, НТУ "ХПИ",  
**А.И. ПОВОРОЗНЮК**, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",  
**Э.Н. БУДЯНСКАЯ**, канд. мед. наук, ХНИИ "ГТ и ПЗ"

### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОДСИСТЕМЫ АНАЛИЗА ГЕМОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В статті розглянуті засоби дослідження реологічних властивостей крові та їх вплив на стан здоров'я організму людини. Розроблено структурну схему підсистеми аналізу гемореологічних показників, яка в змозі забезпечити синтез якісного комп'ютерного діагнозу за мінімальні витрати часу на обстеження пацієнта з урахуванням наявності необхідних приладів вимірювання та класів захворювань.

In article ways of research reology properties of blood and their influence on a state of health of an organism of the person are considered. The block diagram of process of statement of the diagnosis is offered in view of intellectual computer system of medical diagnostics. The block diagram of a subsystem of the analysis reology parameters which provides synthesis of the qualitative computer diagnosis in view of an available set of devices of measurement and classes of diseases in the time expenses reduced up to a minimum necessary on inspection of the patient is developed.

**Постановка проблеми.** В настоящее время в медицинской практике актуальным вопросом считается исследование реологических свойств крови (гемореологии) – ее вязкостных характеристик, агрегационных и деформационных свойств эритроцитов и тромбоцитов при диагностике нарушений системы кровообращения [1 – 7]. Основными показателями реологических свойств крови являются: вязкость крови, вязкость плазмы, а также сопутствующие показатели, от которых зависят вязкость крови и плазмы: уровень гематокрита, количество и средний объем эритроцитов, осмотическая хрупкость эритроцитов, скорость оседания эритроцитов (СОЭ), деформируемость эритроцитов, агрегация эритроцитов, количество тромбоцитов, агрегация и адгезивность тромбоцитов [1 – 10].

Измерение гемореологических показателей осуществляется с помощью различных лабораторных методов, занимающих ведущее место в медицинской практике при исследовании нарушений функционирования организма человека. При этом чуть ли не каждый гемореологический показатель измеряется по своему, можно сказать, "индивидуальному" методу, часто с использованием специального прибора. Вязкость крови и плазмы измеряется с помощью вискозиметра (например, анализатор вязкости крови АВК-1) [8]. Определение гематокрита может выполняться с помощью анализатора гематокрита (АГ-01) или ручными методами с использованием центрифуги [9]. Количество эритроцитов и тромбоцитов можно подсчитывать мануальными (с помощью микроскопа и счетной камеры) и автоматическими (с помощью гематологических анализаторов) методами [6]. Средний объем эритроцитов (*MCV*) вычисляется по формуле [1]:

$$MCV = \frac{\text{Гематокрит в мкм}^3}{\text{Число эритроцитов в мкм}^3}.$$

Осмотическую хрупкость эритроцитов чаще всего измеряют фотометрическим методом с помощью фотоэлектроколориметра. СОЭ определяют мануальным методом с помощью аппарата Панченкова (анализируют по шкале осевшие эритроциты через определенное время) [9]. Деформируемость эритроцитов определяется с помощью прямых (измерение деформаций мембраны эритроцита при различных способах его закрепления и нагружения в поле зрения микроскопа) и косвенных (например, фильтрационных) методов [1, 10]. Агрегация эритроцитов и тромбоцитов может определяться путем прямого микроскопического наблюдения, часто с помощью микрофотографий, либо с помощью агрегометра [1, 8 – 10].

Таким образом, исследования гемореологии являются очень трудоемким процессом, требующим больших затрат времени и привлечения соответствующего персонала. При этом в большинстве клинических лабораторий используются комбинированные мануально-аппаратные методики, не исключающие детального наблюдения под микроскопом и требующие наличие приборов. Поэтому очень часто анализируются лишь отдельные показатели, т.к. комплексное исследование гемореологии порой становится невозможным из-за отсутствия необходимой аппаратуры. В связи с этим актуальной является проблема разработки эффективной схемы анализа гемореологических показателей, которая позволит максимальным образом использовать имеющуюся аппаратуру, сократить до минимума временные затраты обследования и сформировать минимально необходимое множество информативных признаков для синтеза диагноза.

**Анализ литературы.** В настоящее время имеется обширная литература, в которой обсуждается изменения реологических свойств крови при различных заболеваниях. В [1, 2, 8] отмечено, что, показатели реологических свойств крови используются как предупреждающие и прогностические признаки развивающейся патологии, связанной с развитием рецидивирующих тромбозов и тромбоэмболий кровеносных сосудов разной локализации (тромбофилии). В [3 – 5] отмечено, что повышенная вязкость крови является независимым фактором риска ишемической болезни сердца. В [5 – 8] указывается, что высокая вязкость крови характерна для стенокардии, гипертонической болезни, стенозирующего атеросклероза мозговых сосудов, предшествует острому инфаркту миокарда.

Таким образом, нарушения гемореологии выступают в качестве первичных прогностических признаков в первую очередь заболеваний крови и сердечно-сосудистой системы, процент которых на сегодняшний день очень высок. Своевременное выявление этих нарушений и их коррекция, как показано в [1 – 8], позволяют предотвратить заболевание. Однако, при анализе литературы авторы не встретили комплексного подхода исследования

реологических свойств крови, который учитывал бы либо все общепринятые гемореологические показатели, либо их выбор с учетом имеющейся аппаратуры и набора исследуемых заболеваний. В связи с чем, актуальность проблемы, решаемой в данной статье, повышается.

**Целью статьи** является разработка обобщенной структурной схемы подсистемы анализа гемореологических показателей.

**Разработка обобщенной структурной схемы подсистемы анализа гемореологических показателей** выполняется с целью облегчения процесса синтеза диагноза на основе минимально необходимого множества информативных признаков с учетом минимальных временных затрат, необходимых на реологическое обследование пациента, и максимального использования имеющейся аппаратуры. Здесь следует отметить, что конечным этапом исследования гемореологии является постановка диагноза. А диагноз, как известно, является сложным многоуровневым процессом, включающим в себя кроме анализа значений биомедицинских показателей, их взаимосвязь и влияние на состояние здоровья пациента. В [11] авторами отмечены возможности интеллектуальных компьютерных систем медицинской диагностики (ИКСМД), направленные на облегчение задачи распознавания заболевания врачом. В соответствии с ними в [11] предложена структурная схема процесса постановки диагноза с использованием ИКСМД, из которой видно, что в процессе постановки диагноза важную роль играют исследования гемореологии, являющиеся частью клинико-лабораторных исследований.

Структурная схема подсистемы анализа гемореологических показателей представлена на рис. При этом на схеме приняты следующие условные обозначения: ГА – гематологический анализатор; ГП – гемореологические показатели; БД – база данных; ВК – вязкость крови; ВП – вязкость плазмы;  $H$  – гематокрит;  $RBC$  – количество эритроцитов;  $MCV$  – средний объем эритроцитов;  $ОХЭ$  – осмотическая хрупкость эритроцитов;  $PLT$  – количество тромбоцитов;  $АГЭ$  – агрегация эритроцитов;  $АГТ$  – агрегация тромбоцитов;  $АДТ$  – адгезивность тромбоцитов;  $ДЭ$  – деформируемость эритроцитов;  $СОЭ$  – скорость оседания эритроцитов. Следует отметить, что подсистема анализа гемореологических показателей состоит из подсистем и при этом сама является подсистемой более сложной медицинской системы.

*Подсистема сбора и визуального анализа результатов измерений гемореологических показателей.* Необходимость реализации данной подсистемы обуславливается взаимодействием медицинского персонала с пациентом в ходе обследования, которое предусматривает наличие приборов измерения гемореологических показателей. Использование приборов не исключает участия медперсонала в ходе эксперимента, т.к. перед непосредственным измерением необходим этап подготовки пробы крови в соответствии с используемой методикой (ее забор у пациента и смешивание со специальными растворами).

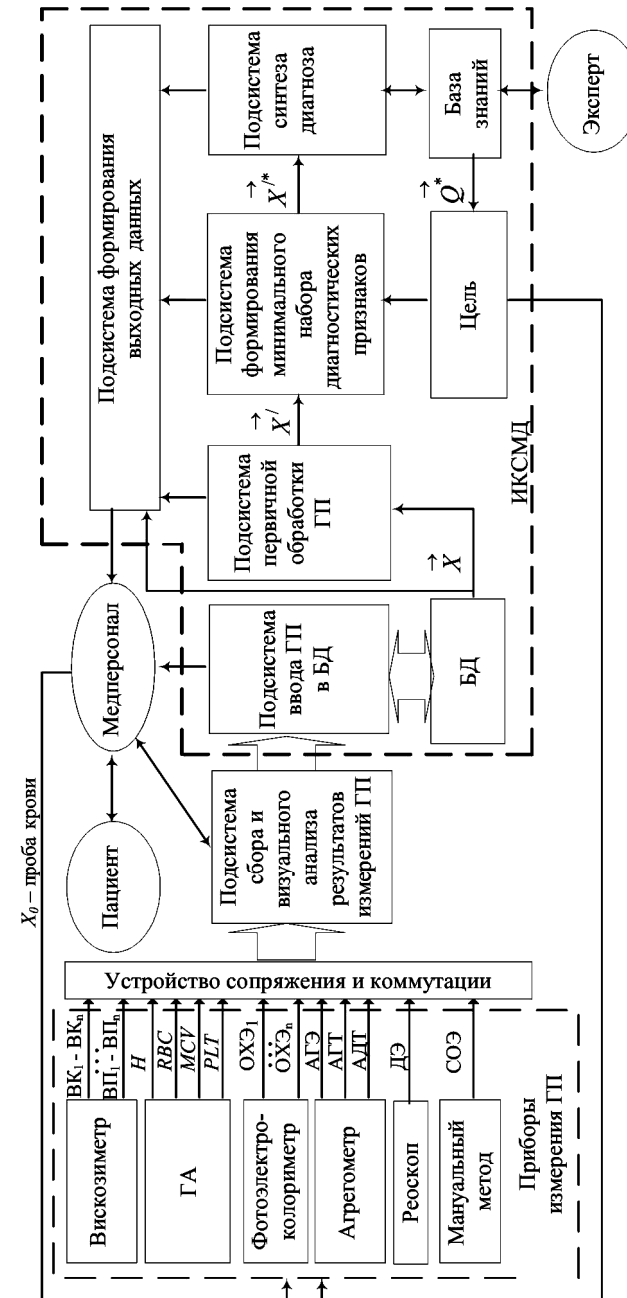


Рис. Обобщенная структурная схема подсистемы анализа гемореологических показателей

Кроме этого, любой прибор требует специальной настройки режимов его работы, снятия результатов, а некоторые требуют и наблюдения за ходом эксперимента (например, вискозиметры). При этом одни приборы выдают результаты измерения гемореологических показателей в готовом виде на индикатор или бланк, например, гематологические анализаторы, а другие требуют дополнительного анализа, и даже некоторых расчетов, выдаваемых результатов, например, агрегометр. Решение данных вопросов осуществляет данная подсистема, результатом работы которой являются гемореологические показатели в готовом виде, пригодном для ввода в базу данных с целью дальнейшей их обработки.

*Подсистема ввода гемореологических показателей в базу данных.* При компьютерной обработке биомедицинской информации одним из этапов является разработка БД для ввода, хранения, объединения и гибкого доступа к комплексу исследуемых показателей. При этом ввод биомедицинской информации должен быть выполнен в стандартизованном (формализованном) виде, предусматривающем стандартизованный вид входных и выходных документов, который принят в медицинской практике, в случае отсутствия которого на данном этапе требуется его разработка. Также на данном этапе выполняется стандартизация описания различных типов показателей: определяется вид кодировки бинарных и порядковых признаков и представление численных показателей (например, формула их нормирования). Кроме значений самих показателей БД предполагает наличие информации, идентифицирующей пациента: ФИО, возраст, пол, дата обследования, профессия, стаж, условия труда и другие данные, необходимые для конкретных научных исследований, что позволяет не только синтезировать диагноз и выяснять диагностическую значимость показателей, а и исследовать их зависимости от различных факторов (возраст стаж, условия труда). Такие зависимости часто выступают объектом исследования в ряде научных тематик.

При разработке БД в первую очередь определяется ее структура – таблицы, поля таблиц и связи между таблицами. БД также должна быть конфиденциальной, защищена от ошибок пользователя, иметь различные уровни доступа к данным, должна иметь в наличии удобный интерфейс ввода и просмотра, реализуемый с помощью форм и запросов соответственно. Ввод гемореологических показателей и идентификационной информации о пациенте в БД в нашем случае осуществляется вручную с клавиатуры, так как принцип работы приборов измерения гемореологических показателей на сегодняшний день не позволяет осуществлять автоматический ввод в реальных условиях клинических лабораторий. Таким образом, БД должна хранить всю исходную информацию о пациенте и его гемореологическом обследовании, включая диагноз после его распознавания. На выходе подсистемы ввода гемореологических показателей в БД – показатели в таблицах соответствующей структуры, удобной для дальнейшей их обработки.

*Подсистема первичной обработки гемореологических показателей* включает в себя выполнение следующих действий: нормирование количественных показателей с помощью функции, разработанной на предыдущем этапе, т.к. желательно, чтобы такие признаки хранились в БД и в исходном, и в нормированном виде; анализ существующих взаимосвязей между гемореологическими показателями с помощью так называемых мер связи. В данной работе в качестве мер связи между гемореологическими показателями используются коэффициенты корреляции, представленные в виде корреляционной матрицы. Результатом работы подсистемы первичной обработки гемореологических показателей являются нормированные количественные гемореологические показатели и их корреляционная матрица.

*В подсистеме формирования минимального набора диагностических признаков* осуществляется ряд действий с целью формирования минимального набора информативных признаков:

– кластеризация и корректное снижение размерности исходного пространства гемореологических признаков – формирование групп тесно связанных между собой показателей и переход исходного множества гемореологических показателей к более лаконичному пространству путем некоторого их преобразования;

– отбор наиболее информативных гемореологических признаков.

Данные действия направлены на повышения качества компьютерного диагноза и являются взаимосвязанными друг с другом, т.к. отбор информативных признаков выполняется в группах тесно связанных между собой гемореологических показателей, сформированных с помощью метода структурной идентификации диагностических признаков, разработанного в [11, 12]. При этом информативность может характеризоваться с разных сторон, в нашем случае под информативностью гемореологического признака понимается его способность диагностировать определенное заболевание. При этом набор множества информативных гемореологических признаков для данной задачи диагностики предъявляет требования к выбору необходимого множества измерительных приборов. Т.е. информативность подразумевает не только диагностическая, а и с точки зрения возможности реализации и трудоемкости получения гемореологических показателей.

Результатом работы данной подсистемы является минимально необходимый набор информативных гемореологических признаков, который может корректироваться в соответствии с поставленной целью, в качестве которой может выступать определенное заболевание или класс заболеваний из базы знаний, и имеющимися в наличии приборами измерения гемореологических показателей.

*В подсистеме синтеза диагноза* по имеющемуся набору информативных гемореологических признаков осуществляется синтез компьютерного диагноза, который реализуется с помощью методов распознавания образов. Здесь следует отметить, что в результате работы подсистемы синтеза диагноза

формируется не один конкретный диагноз, а группа, наиболее вероятных диагнозов, с той целью, чтобы врач смог сопоставить результаты работы данной подсистемы со своими предположениями и учесть возможные ошибки распознавания. Синтез нескольких диагнозов обусловлен еще и тем, что в процессе распознавания заболевания могут присутствовать ошибки разного рода, такие, как субъективные ошибки врача, вызванные неправильной оценкой признаков, или объективные ошибки, обусловленные особенностями организма обследуемого пациента, или нетипичным протеканием болезни. Именно поэтому для медицинской диагностики часто применяются вероятностные методы распознавания. В данной работе для синтеза диагноза предлагается использовать дискриминантный анализ. В случае правильного распознавания данное заболевание с набором диагностических признаков пополняет базу знаний. Запись в БД также дополняется распознанным диагнозом для рассматриваемого пациента. Синтез диагноза является завершающим этапом работы системы гемореологических исследований.

*База знаний (БЗ)* представляет собой "основу" для подсистемы синтеза диагноза, так как в ней хранятся необходимые для решения задачи распознавания знания. Следует отметить, что при синтезе диагноза с помощью методов распознавания образов, используемым в данной работе, заболевание представляется в виде вектора признаков, а некоторая область в пространстве признаков соответствует некоторому классу заболеваний. Такое описание характерно и для представления знаний в БЗ (представление знаний по примерам). Данные в БЗ будут получены в результате обучения подсистемы анализа гемореологических показателей с целью определения минимальных наборов информативных гемореологических признаков для имеющегося набора заболеваний или классов заболеваний и формирования решающего правила. На первом этапе обучения эксперт или инженер по знаниям формирует априорную информацию, состоящую из классификации имеющихся заболеваний и характерных для них значений гемореологических признаков, так называемую обучающую выборку. На втором этапе обучения строится некоторое решающее правило, обеспечивающее удовлетворительную классификацию имеющихся в обучающей выборке случаев заболеваний. Выполнения первого и второго этапов обучения происходит с помощью эксперта, т.е. это так называемое обучение с учителем. Далее разработанное решающее правило проверяется на новых данных без помощи учителя. Если результаты работы решающего правила совпадают с экспертным мнением, то алгоритм классификации заболевания принимается и используется в дальнейшем, в ином случае алгоритм поправляется и совершенствуется на практике. Обучающая выборка необходима также и для работы алгоритмов распознавания образов. Информация из БЗ поступает в систему синтеза диагноза при работе алгоритма распознавания образов, а в случае правильно распознанного диагноза – для пополнения обучающей выборки. В случае

неправильного распознавания диагноза с помощью принятого решающего правила выполняется его верификация и только после этого, пополнение БЗ.

*Подсистема формирования выходных данных.* Результаты работы подсистемы ввода гемореологических показателей в БД, подсистемы формирования минимального набора диагностических признаков, подсистемы синтеза диагноза поступают на вход данной подсистемы, которая предусматривает разработку удобного интерфейса взаимодействия человека с подсистемой анализа гемореологических показателей. Здесь необходимо обеспечить врача всей промежуточной и результирующей информацией: информацией о пациенте, значениями его исходных гемореологических показателей, общими значениями исходных гемореологических показателей, структурой связей гемореологических показателей друг с другом и с определенными заболеваниями, набором отобранных информативных гемореологических признаков, группой наиболее вероятных заболеваний для каждого из пациентов, участвующих в процессе распознавания. При этом разрабатывается несколько форм интерфейса с учетом принципов конфиденциальности и доступа различных уровней.

*Целью* подсистемы анализа гемореологических показателей является обеспечение качественного диагноза при имеющемся наборе приборов измерения. Для обеспечения данной цели как раз и строится минимально необходимое множество информативных гемореологических признаков, которое учитывает как диагностическую ценность, так и трудоемкость и возможность измерения данных показателей. В случае, если для имеющегося набора диагнозов и приборов измерения указанная цель не может быть достигнута, подсистема анализа гемореологических показателей формирует рекомендации: сокращение диагностируемых состояний, т.е. менее углубленная диагностика либо проведение дополнительных исследований, для которых требуется наличие новых приборов, которые имеются в другой организации или которые необходимо закупить.

Наличие же *эксперта*, как было отмечено выше, необходимо для формирования БЗ и наблюдения за ходом работы подсистемы анализа гемореологических показателей с целью коррекции ошибок и недочетов, всплывающих уже при ее практическом использовании.

Таким образом, подсистема анализа гемореологических показателей предполагает работу в двух режимах:

– Режим обучения, включающий в себя формирование БЗ (обучающая выборка и правило классификации заболеваний), априорных вероятностей имеющихся заболеваний и минимально необходимого набора информативных гемореологических признаков. В этом режиме кроме медперсонала требуется наличие эксперта в области построения медицинских диагностических систем.

– Режим диагностики, который является основным в практическом использовании разработанной подсистемы анализа гемореологических

показателей. В этом режиме осуществляется обследование конкретного пациента и в качестве медперсонала выступает врач.

Следует подчеркнуть, что качество компьютерного диагноза определяется результатами работы всех подсистем структурной схемы анализа гемореологических показателей (см. рис.), однако важную роль играет множество информативных признаков, которое является результатом работы подсистемы формирования минимального набора диагностических признаков. При этом, как было отмечено выше, отбор минимального множества информативных признаков осуществляется в группах тесно связанных гемореологических показателей, которые получают на предыдущем этапе работы этой же подсистемы, что характеризует данный этап как важный с точки зрения качества распознанного диагноза. Формирование минимально необходимого набора информативных гемореологических признаков выполняется с помощью структурной идентификации диагностических признаков, разработка которой представлена в [11, 12].

**Выводы.** Таким образом, разработанная подсистема анализа гемореологических показателей сможет обеспечить синтез качественного компьютерного диагноза по минимально необходимому набору информативных признаков с учетом имеющихся в наличии приборов измерения и классов заболеваний за минимальное время. **Перспективы дальнейших исследований** заключаются в разработке автоматизированной системы анализа гемореологических показателей на основе разработанной структурной схемы.

**Список литературы:** 1. Козинец Г.И., Макарова В.А. Исследование системы крови в клинической практике. – М.: Триада-Х, 1997. – 480 с. 2. Агроненко В.А., Суханов Ю.С., Алексеев В.Е. Служба крови и трансфузиология на пути в XXI столетие // Вестник службы крови. – 1999. – С. 6–8. 3. Белопухов В.М. Коагулярные и реологические показатели при синдроме повышенной вязкости крови // Лабораторное дело. – 1991. – №4. – С. 29–31. 4. Иванов Е.П. Руководство по гемостезиологии. – Минск: Беларусь, 1991. – 302 с. 5. Коркушко О.В., Лишневская В.Ю. Современные представления о синдроме миокардиальной ишемии // Кровообіг та гемостаз. – 2003. – № 1. – С. 8–17. 6. Иващенко И.И. Значение нарушений реологических свойств крови и системы гемостаза для прогноза ИБС // Український кардіологічний журнал. – 1998. – № 3. – С. 52–56. 7. Шляхто Е.В., Моисеева О.М., Лясникова Е.А. Реологические свойства крови и функции эндотелия у больных гипертонической болезнью // Кардиология. – 2004. – Т. 44. – № 4. – С. 20–23. 8. Добровольский Н.А., Лопухин Ю.М., Парфенов А.С. Анализатор вязкости крови // Медицинская техника. – 1997. – № 3. – С. 13–16. 9. Титов В.Н. Лабораторные и инструментальные исследования в диагностике: Справочник. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. – 960 с. 10. Левтов В.А., Регистер С.А., Шаорина Н.Х. Реология крови. – М.: Медицина, 1982. – 292 с. 11. Максютя Н.В., Поворозник А.И. Структурная идентификация диагностических признаков в интеллектуальных системах медицинской диагностики // Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Харьков: "Эргос". – 2005. – № 10. – С. 4–14. 12. Будянская Э.Н., Поворозник А.И., Максютя Н.В. Структурная идентификация диагностических признаков на основе алгоритма "дефекта" // Системи обробки інформації. – Х: ХВУ, 2003. – Вип. 3. – С. 159–164.

Поступила в редакцию 30.09.2006

УДК 004.891

*Л.М. ЛЮБЧИК*, д-р техн. наук,  
*Г.А. ГОЛОТАЙСТРОВА*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Пропонуються математичні моделі для імовірнісного аналізу ризику при оцінці надійності складних технологічних систем. Сформульовані загальні етапи моделювання і проаналізовані труднощі під час їхнього виконання. Розглянути методи, застосовувані на різних етапах моделювання, дана їхня загальна характеристика. Приведено приклад розрахунку надійності з використанням технології структурно-логічного моделювання.

Math models for probabilistic risk analysis reliability evaluations of intricate system are proposed. The basic modeling stages were chosen and hardships of each stage implementation are analyzed. Methods for each stage of modeling are considered. The methods of conversion from logical function to probabilistic polynomial are briefly reviewed. Using structure logical modeling technology for reliability calculation was given an example

**Введение.** В настоящее время к безопасности объектов химической и нефтеперерабатывающей промышленности (ХНПП) предъявляются исключительно жесткие требования. Поэтому в процессе проектирования, строительства и эксплуатации объектов ХНПП прикладываются усилия, чтобы обеспечить их соответствие действующим международным нормам.

В этой связи не может не возникнуть вопрос о качестве исследований, в ходе которых производится оценка безопасности объектов ХНПП. Ясно, что для расчета вероятностных показателей необходимо построение математической (вероятностной) модели, позволяющей рассчитать частоту появления нежелательного события, вероятность выхода опасного химического вещества за пределы оборудования, коэффициенты неготовности системы безопасности и т.д.

В настоящее время в соответствии с Законом Украины "Об объектах повышенной опасности" и Закона Украины "О страховании" оценка риска аварий является обязательной процедурой при разработке деклараций промышленной безопасности.

**Постановка задачи анализа риска.** Анализ риска (АР) рассматривается, как структурированный процесс, целью которого является определение вероятности и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы. В качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде. В результате анализа должны быть получены ответы на три основных вопроса:

– Что может выйти из строя (идентификация опасности)?