

Важливою задачею є також визначення оптимального способу створення нейронних мереж для прогнозування в маркшейдерії. За загальним видом графіка деформацій встановлено, що обробка нейронними мережами таких «сирих» даних, які використані у роботі, малоефективна через занадто малу їх кількість і значні коливання досліджуваної величини.

Тому, щоб обійти цей недолік пропонується обробку 20 реперів вести одночасно.

#### Список літератури

1. Нейронные сети. STATISTJCA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В. П. Боровикова. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 392 с., ил.
2. **Боровиков В.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD) - СПб. Питер, 2003. – 688с

Рукопис подано до редакції 19.09.13

УДК 624.04

Р.А. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук,  
Криворожский национальный университет

### ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО РАСЧЕТА СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ» ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Рассмотрены особенности совместного расчета системы «основание–фундамент–верхнее строение», проанализированы основные подходы, а также сложности, возникающие в процессе проектирования и эксплуатации.

**Постановка проблемы.** С развитием проектирования и строительства высотных зданий возникла необходимость исследований и поиска их оптимальных решений. На современном этапе строительства увеличение этажности застройки в городах привело к освоению территорий со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями и вызвало много инженерных проблем [1-3].

В первую очередь, строительство высотных зданий и сооружений способствует увеличению нагрузок и сложных воздействий на основание и фундаменты, что вызывает необходимость применения новых видов конструкций и решение нестандартных усложненных задач. Кроме того, строительство высотных зданий и многоярусных подземных паркингов вызывает в ряде случаев деформации построенных сооружений и, как следствие, частичное или полное их разрушение [4,5].

Эти обстоятельства ставят совместный расчет системы «основание - фундамент - верхнее строение» для высотных зданий одним из наиболее критичных вопросов относительно оценки рисков и оптимизации сроков строительства. Следовательно, изучение инженерно-геологических условий и определение параметров проектирования играют важную роль в создании наиболее эффективного и экономичного проекта сложного высотного здания [6,7].

При расчете системы «основание - фундамент - верхнее строение» в массиве грунта формируется напряженно-деформированное состояние (НДС), которое трансформируется в пространстве и во времени в период строительства и эксплуатации высотного здания. Это обусловлено многочисленными факторами и, в первую очередь, особенностями физико-механических свойств грунтов в массиве, к которым относятся: физическая и геометрическая нелинейность, неоднородность, анизотропность, пластичность и ползучесть, многофазность. Принимая во внимание особенности технологии возведения зданий (позтапность), учет этих свойств при количественной оценке НДС системы „основание - фундамент - верхнее строение» возможен лишь численным методом [8-10].

**Цель исследования.** Основной задачей совместных расчетов является использование последних достижений в области механики грунтов и расчета конструкций здания. Моделирование пространственного массива основания и здания осуществляется с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Целью таких исследований является оценка основных исходных данных влияющих на устойчивость всего здания таких, как инженерно-геологические характеристики грунтов; сложная геометрия возводимого здания; пространственная совместная работа грунта основания с учетом физической нелинейности и надземной конструкции; влияние жесткости конструкций здания на перераспределение неравномерности деформаций основания. Оценка этих параметров в расчетах возможна только на основании совместных пространственных рас-

четов системы «основание - фундамент - верхнее строение», позволяющих учитывать множество факторов влияющих на здание в целом.

**Основная часть.** В процессе совместного расчета системы „основание - фундамент - верхнее строение” выполняются следующие виды работ [11]:

анализ конструктивной схемы высотного здания и принятых несущих и ограждающих конструкций;

анализ результатов инженерно-геологических изысканий и гидрогеологических условий участка строительства и разработки геотехнического мониторинга состояния грунтового основания на стадиях строительства и эксплуатации высотного здания;

анализ упруго-деформационного состояния несущих конструкций и динамического поведения каркаса здания совместно с грунтовым основанием и оценка проектно-технических решений для внешних ограждающих конструкций.

организация мониторинга окружающих зданий и сооружений и подземных коммуникаций, находящихся в зоне влияния возведение высотного здания;

проведение геотехнического мониторинга, включая геодезический контроль осадок и кренов высотного здания и состояния ограждающих конструкций;

проведение мониторинга деформационного состояния высотного здания (колебаний верхней части высотного здания).

Основания и фундаменты высотных зданий необходимо проектировать в соответствии с нормативными документами [11-14] на основании:

конструктивных особенностей здания и нагрузок, действующих на фундаменты и грунтовое основание, а также условий их эксплуатации;

результатов инженерных изысканий;

технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений (по оценке приведенных затрат) для принятия оптимального варианта, что обеспечивает наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов и физико-механических свойств материалов фундаментов и других подземных конструкций.

Для обеспечения несущей способности и пространственной жесткости конструктивной системы высотных зданий рекомендуется применять:

ядра и диафрагмы жесткости;

конструктивные системы с внешними стенами по всему контуру здания;

конструктивные системы с симметричным и равномерным расположением несущих конструкций в плане и по высоте здания в соответствии с равномерным распределением вертикальных нагрузок;

монолитные диски перекрытий, объединяющие вертикальные несущие конструкции и выполняющие функции горизонтальных диафрагм жесткости при действии ветровых и сейсмических нагрузок;

горизонтальные балочные или раскосные пояса жесткости на уровне технических этажей, что обеспечивает совместную работу на изгиб всех вертикальных конструкций здания, жестких узловых соединений между несущими конструкциями.

В геотехнических исследованиях наблюдается более детальное моделирование траектории нагружения грунта основания путем повторения ее в экспериментах, при этом используются модели деформирования грунта основания „деформационного” типа.

Проводится определение механических свойств грунтов оснований по специальным траекториям нагружения, позволяющим после создания модели деформирования грунта прогнозировать механические свойства грунтов по другим траекториям нагружения грунта основания [15-17].

Первостепенное значение имеют определение параметров и конструкций для мониторинга и включение системы в план на стадии конструкционного проектирования. Конструкционно-геотехнический мониторинг должен считаться неотъемлемой частью работы по проектированию, по реализации строительства и обеспечивать эксплуатационную надежность высотного здания.

Геотехнические параметры зависят от особенностей геологии и гидрогеологии места площадки (от типа грунта под фундаментом, наличия грунтовых вод), а также проектных характеристик, касающихся земляных работ, возведения опорных конструкций и фундамента.

Что касается конструктивных параметров, то они связаны с НДС надземных конструкций и зависят не только от приложенных нагрузок, но и деформаций фундамента [6,18,19].

Анализ НДС оснований высотных зданий может быть выполнен только с использованием программ, в которых реализованы модели нелинейной механики грунтов, и которые позволяют комплексно учесть всевозможные факторы на этапах строительства и эксплуатации.

Применение математического моделирования для оценки НДС системы „основание - фундамент - верхнее строение” позволяет, оптимизировать конструктивные решения рассматриваемой системы [20-22].

Возможности операционных систем, специализированных программных комплексов, таких как: „STRAP” (Израиль), „NASTRAN”, „STRUDL”, „ANSYS” (США), „ROBOT” (Франция), „PLAXIS” (Германия), „STARK” (Россия), „ЛИРА” (Украина) позволяют не только проводить расчеты, проектировать конструкции, определять соответствующее расчетной схеме НДС, но и осуществлять компьютерное моделирование процессов нагружения, возведения и эксплуатации высотного здания [23].

Совершенствование современных программных комплексов позволяет решать вопросы оптимального проектирования (построение изополей, изолиний напряжений, перемещений, усилий, построение деформируемых схем, численная и цветовая индикация элементов и их атрибутов).

Следует сказать о ряде существенных недостатков, присущих МКЭ. Как и всем численным методам, ему свойственно: необходимость рассчитывать всю конструкцию при определении параметров НДС в локальной области; необходимость решения систем уравнений больших размеров и связанные с этим проблемы обусловленности; пониженная точность вычисления напряжений и усилий по сравнению с перемещениями; неиспользование граничных условий, выраженных в напряжениях и усилиях.

Программный комплекс (ПК) „ЛИРА” применяют для расчетов, исследований и проектирования конструкций различного назначения, а также для моделирования системы „основание - фундамент - верхнее строение”.

Он позволяет исследовать общую устойчивость рассчитываемой модели, проверять прочность сечений по различным теориям разрушения, производить расчеты с учетом физической и геометрической нелинейности, моделировать процесс возведения сооружения с учетом монтажа и демонтажа элементов, моделировать деформационные воздействия основания [20,24].

Строящиеся в Украине здания из монолитного железобетона имеют одинаковую статическую схему: каркасную с ядром жесткости в виде лестнично-лифтового блока.

Для зданий точечного типа - один блок, для протяженных по длине - два блока на один температурный отсек.

Для 25-30-этажных зданий данная схема наиболее целесообразна.

В архитектурно-планировочном решении колонны и пилоны каркаса могут располагаться по регулярной и нерегулярной схемам, и поэтому пролеты плит могут быть в пределах от 3 до 7,2 и более метров.

При нерегулярной структуре жесткости в продольном и поперечном направлениях существенно отличаются.

В ядре жесткости продольные стены (лестнично-лифтовой узел) совпадают с поперечным каркасом здания.

В зданиях точечного типа (с регулярной структурой) жесткости каркаса в продольном и поперечном направлениях одинаковы.

С точки зрения статического расчета, строящиеся в Украине здания из монолитного бетона являются рамно-связевыми системами с безбалочными перекрытиями.

При составлении комплексной пространственной системы „основание – фундамент – верхнее строение” обращается внимание на моделирование работы основания. В практике выполнения расчетов довольно часто упускают моменты работы деформируемого основания или упрощают исходные данные, что и вызывает нарушения в нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

Причем такие недоработки проектировщиков и расчетчиков касаются не только новостроящихся объектов, но и реконструкции существующих, независимо от сложности инженерно-геологических условий площадки, конструктивной схемы здания, типа его фундаментов.

Поэтому выбор модели основания, методики расчета и учет работы в системе „основание -

фундамент - верхнее строение” является важным при выполнении пространственных расчетов высотных зданий.

В качестве основного метода расчета всех элементов этой системы: деформируемого основания, фундамента, колонн, безбалочных перекрытий, лестнично-лифтовых блоков – используется МКЭ.

Такой подход позволяет учесть совместную работу всех элементов системы независимо от формы здания в плане [25-29]. Матрицы жесткости отдельных элементов, на которые делится конструкция, устанавливают соотношение между узловыми силами и перемещениями по направлению сил. Число независимых параметров функций перемещений принимается равным числу компонентов перемещений рассматриваемого элемента, включая его перемещение как твердого тела.

Основные положения МКЭ, определение матриц жесткости конечных элементов, составление обобщенной матрицы жесткости системы, расчет перемещений, напряжений и деформаций достаточно подробно освещены в специальной литературе и учебных пособиях [21,23,24].

В МКЭ сплошная среда рассматривается как состоящая из конечного числа отдельных элементов, вплотную прилегающих друг к другу и жестко соединенных между собой в вершинах этих элементов.

Наиболее часто используемые формы конечных элементов: треугольник и прямоугольник – для плоской задачи, тетраэдр и параллелепипед - для пространственной задачи.

Однако, это произвольный набор элементов, соединенных в узлах.

Такое представление привело бы к концентрации напряжения в местах соединения элементов, а между узлами - к разрыву деформации. Такая конструкция была бы более податливой, чем она есть на самом деле.

Поэтому одна из проблем МКЭ состоит в том, чтобы подобранное деформируемое состояние отражало реальное поведение среды в месте расположения элементов [16,25]. Зависимость деформаций от напряжений в бетоне и арматуре носит нелинейный характер так, как и зависимость между давлениями и осадками в процессе деформирования грунта.

Указанные причины являются физическими факторами, зависящими от механических характеристик. Для решения задачи расчета упругих систем часто используют ПК „ЛИРА”, который реализует численный метод дискретизации (разбивки на элементы заданной области) сплошной среды. Основными этапами при решении задачи по МКЭ в ПК „ЛИРА” являются:

- расчленение исследуемой конструкции на конечные элементы;
- назначение узловых точек;
- указание типа жесткости для каждого элемента;
- указание для узла степени свободы, по направлению которой снимается связь;
- указание жесткостных характеристик для каждого типа жесткости;
- задание для узла или элемента направления и типа нагрузки, номера загрузки;
- указание величины нагрузки;
- указание расчетного сочетания усилий.

Весь процесс формирования системы канонических уравнений, решение системы уравнений, вычисление значений узловых перемещений, определение компонентов НДС исследуемого высотного здания в системе „ЛИРА” происходит автоматизировано, кроме того, подбор и проверка сечений выполняются с формированием эскизов рабочих чертежей.

При моделировании в зависимости от решаемой задачи и точности расчета используют густые сетки разбиения на КЭ. Это важно при решении задач определения нагрузок на основание, которое характеризуется резкой неравномерностью распределения жесткостных свойств по подошве фундаментов и здесь целесообразно применение мелкой или неравномерной сетки дискретизации. Аналогичным образом поступают при решении задачи определения усилий в конструкциях здания. В местах резкого изменения жесткостей и стыков конструктивных элементов при большой сетке разбиения можно экстраполировать результаты соседних участков на места, где теряется точность решения.

Выбор типа КЭ зависит от ряда факторов: класса решаемой задачи, конструктивной особенности здания, степени дискретизации расчетной схемы. Назначение жесткостных характеристик для каждого из участков выполняется в соответствии с типом КЭ. Расчет системы „основание - фундамент - верхнее строение” высотного здания необходимо выполнять по двум предельным состояниям: по несущей способности и по деформациям.

Специфическим для таких зданий является требование, чтобы расчет системы „основание - фундамент - верхнее строение” выполнялся с учетом последовательности и принятой технологии возведения здания. В процессе проектирования, начиная с предпроектной стадии, до начала строительства

необходимо розробляти програму моніторингу, яка передбачає обстеження будівель оточуючої застройки, їх основань і фундаментів. Улучшити умови роботи будівлі під навантаженням і підвищити його жорсткість дозволяє також симетричне розташування мас і жорсткостей, даюче більш рівномірне розподілення вертикальних навантажень на несучі елементи будівлі [30].

**Висновки.** В розглянутих підходах і перерахованих факторах можливі різні варіанти прийняття рішень, які в той чи інший ступінь впливають на остаточне проекційне рішення висотної будівлі і визначають його техніко-економічні показники і надійну експлуатаційну придатність.

Визначаючим моментом оцінки надійності висотної будівлі при проектуванні є врахування впливу розрахункових факторів на остаточне визначення напружень і сил в системі «основа – фундамент – верхня частина».

#### Список літератури

1. Сюй Пэйфу. Проектирование современных высотных зданий. Пер. с китайского / под ред. Сюй Пэйфу. – М.: АСВ, 2008. – 469 с.
2. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий. Учеб. пособие / В.П. Генералов. – Самара, 2009. – 296 с.
3. Осітнянко А.П. Планування розвитку міста / А.П. Осітнянко. – К.: КНУБА; 2005. – 386 с.
4. Золотов Е.С. Житло ХХІ століття. Досвід проектування й експериментального будівництва житлових будівель нового покоління // Е.С. Золотов / – К.: ЭСКО – 2004. – № 4. – С. 46-53.
5. Габрель М.М. Підвищення ефективності використання просторового потенціалу – інтегральна задача містобудівної діяльності // Містобудування та територіальне планування Науково-технічний збірник Вип.12.-К.: КНУБА, 2002.С. 9-18.
6. Рапопорт Г.А. Современные проблемы моделирования в механике сооружений / Г.А. Рапопорт // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: НИЦ Строительство, 2006. – № 2. – С. 27-33.
7. Магай А.А. Архитектурно-конструктивные особенности высотных зданий за рубежом / А.А. Магай, Ю.Г. Граник // Уникальные и специальные технологии в строительстве. – М., 2004. – № 1 – С. 48-57.
8. Клепиков С.Н. О допустимых кренах жилых зданий / С.Н. Клепиков, А.В. Машкин // Жилищное строительство. – № 11 – 1982. – С. 22-23.
9. Белостоцкий А.М. Комплексное расчетное обоснование напряженно-деформированного состояния высотных многофункциональных комплексов / А.М. Белостоцкий, Д.К. Калачева [и др.] // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: НИЦ Строительство, 2006. – № 6. – С. 52-56.
10. Малышев М.В. Прогноз осадок фундаментов неглубокого заложения с использованием обоих критериев предельных состояний / М.В. Малышев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1996. – № 1. – С. 2-4.
11. ДБН В.2.2-24:2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 114 с.
12. ДБН В.2.1-10:2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
13. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 75с.
14. ДБН А.2.1-1:2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва. Проектування висотних житлових і громадських будинків – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 74 с.
15. Тимченко Р.А. Вопросы геотехнических исследований для плитных фундаментов высотных зданий и сооружений / Р.А. Тимченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2006. – № 4. – С. 53-58.
16. Шашкин А.Г. Основные закономерности взаимодействия основания и надземных конструкций здания / А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – С-Пб.: Геореконструкция, 2006. – № 10 – С. 63-92.
17. Кубецкий В.Л. Влияние результатов инженерно-геологических изысканий на прогнозирование осадок высотных зданий // В.Л. Кубецкий, В.В. Иванов / Инженерная геология – М.: 2008. – № 1. – С. 35-38.
18. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений // Б.С.Касаткин, А.Б.Кудрин, Л.М.Лобанов, В.А.Пивторак, П.И.Полухин, Н.А.Чиченев / – К.: Наукова думка, 1981. – 129 с.
19. Методические рекомендации по учету нелинейных свойств основания при расчете конструкций по реальным диаграммам деформирования грунта / НИИСК. – К.: НИИСК, 1985. – 61 с.
20. Тимченко Р.А. Применение программ МКЭ для моделирования работы системы „основание – инженерное сооружение“ в условиях неравномерных деформаций основания / Р.А. Тимченко // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. Вип. 21. – Кривий Ріг: КТУ, 2008. – С. 113-116.
21. Городецкий А.С. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона: проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии / А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак [и др.]. – К.: Факт, 2004 – 106 с.
22. Фадеев А.Б. Решение задач механики грунтов, оснований и фундаментов методом конечных элементов с использованием ЕС ЭВМ. / А.Б. Фадеев, Х.З. Бакенов, С.А. Кудрявцев // Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – ХабИИЖТ. Хабаровск, 1989. – 64 с.
23. Городецкий А.С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие // А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
24. Лантух-Лященко А.И. ЛИРА. Програмный комплекс для расчета и проектирования конструкций. / А.И. Лантух-Лященко // Учебное пособие. – К.:2001. – 312 с.
25. Исследование влияния расчетной модели плитного фундамента под высотное здание на его несущую способность / В.Н. Аликин, Г.Г. Кашеварова, С.Р. Леви, О.Ю. Сметанников // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: НИЦ Строительство, 2006. – № 3. – С. 55-61.

26. **Петраков А.А.** Практические методы анализа предельных состояний оснований и фундаментов / **А.А.Петраков, Н.А. Петракова, Н.Г. Лобачева** // Сучасне промислове та цивільне будівництво – Донецьк, 2009. – № 1. – Том 5. – С. 35-42.
27. **Нгуен К.Х.** Методика выбора оптимальных фундаментов высотных зданий в условиях г. Хошимина. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. –СПб.: СПбГАСУ, 2008. – 204 с.
28. **Тімченко Р.О.** Проектування і розрахунок урівноважуючих плитних фундаментів. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей. //Р.О. Тімченко. – Кривий Ріг, 2004. – 82 с.
29. **Барвашов В.А.** Чувствительность системы «Основание-сооружение». /В.А. Барвашов// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – №3. – С. 10-14.
30. **Кривошеєв П.І.** «Науково-технічні проблеми координації дій щодо захисту будівель, споруд і територій зі складними інженерно-геологічними умовами»./ П.І. Кривошеєв // Будівництво України. – 2001. – №6. – С. 16-19.

Рукопись поступила в редакцию 14.03.14

УДК 621.181.124

І.І. ЄФІМЕНКО, студент, Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЛОАГРЕГАТІВ

Розглянуто методи вимірювання газів а також вибір методів, придатних для створення автоматичних газоаналізаторів вмісту шкідливих домішок у димових газах котлоагрегатів для забезпечення оптимальних виробничо-економічних, технологічних і технічних параметрів роботи котла та покращення якості димових газів.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Зниження забруднення довкілля токсичними продуктами згоряння органічних палив є однією з важливих проблем розвитку теплоенергетики. У цей час діють досить тверді нормативи, що регламентують викиди в атмосферу. Переважна більшість діючих котлів мають значно більш високі рівні викидів  $\text{NO}_x$ , ніж це регламентується. До теперішнього часу розроблена велика кількість методів зниження викидів оксидів азоту як на стадії спалювання палива, так і очищення газів на стадії охолодження продуктів згоряння. Останні є високоефективними методами, що дозволяють забезпечити задані рівні викидів оксидів азоту, і широко застосовуються в технологічно розвинених країнах.

Слід зазначити, що при впровадженні даних технологій може спостерігатися не тільки зниження ККД котельної установки, але й складності з регулюванням технологічних процесів. Останнє часто обумовлене не тільки ускладненням схеми регулювання, але й поганим станом контрольно-вимірювальних приладів, установлених на котлі.

Зростання промислового виробництва й прискорене введення в роботу електрогенеруючих потужностей, що планується в найближчі роки, потребує скоротити обсяги викидів від уже встановленого устаткування. Особливо актуальною ця проблема стане, якщо все-таки почне відбуватися заміна природного газу твердим паливом і мазутом.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Детальний аналіз методів вимірювання газів і газоаналізаторів дано в літературних джерелах [1-5]. У роботах таких вітчизняних науковців, як В.А. Павленко, А.Н. Щербань, Н.И. Фурман, В.П. Тхоржевський, Л. Ваня, Ю.В. Щелоков, В.М. Шкедов, Е.Ф. Мінікаєв, В.И. Романенко, В.И. Голинько розглянуто характерні властивості газів, методи їх аналізу та особливості розробки газоаналізаторів.

Характерні властивості кисню і оксиду вуглецю, які теоретично можна використовувати для створення автоматичних газоаналізаторів, у порівнянні з іншими компонентами димових газів наведені в табл. 1 [1-5]. Вибір методу аналізу для газоаналізатора полягає у знаходженні найбільш специфічної фізико-хімічної властивості, що відрізняє вимірюваний компонент від інших в газовій суміші.

Відомо, що методи аналізу газів можна розділити на фізичні та фізико-хімічні. При використанні фізичних методів вимірюють певну властивість аналізованого компонента, а хімічний склад середовища не змінюється. Принципи дії фізико-хімічних методів полягають у вимірі фізичних ефектів, супроводжуваних хімічними реакціями. ВУ роботах [2,3] методи аналізу газів розбиті на наступні групи: механічні, акустичні, теплові, магнітні, електричні, оптичні, іонізаційні і радіоактивні з додатковим розбиттям на підгрупи. Вимірюваними параметрами при визначенні вмісту кисню можуть бути об'ємна магнітна сприйнятливості, тепловий ефект згоряння пального при лімітуючому факторі вмісту кисню,