

## **Лекцыя 1 Паняцце экспертнай сістэмы. Прыкладныя экспертныя сістэмы. Экспертныя сістэмы ў вобласці лінгвістыкі**

1.1. Вызначэнне экспертнай сістэмы, яе структура і асноўныя кампаненты.

1.2. База ведаў як адзін з асноўных элементаў экспертнай сістэмы; база ведаў аб мове: паняцце, асаблівасці, прызначэнне, сферы прымянення.

1.3. Віды і тыпы экспертных сістэм; экспертныя сістэмы, якія прымяняюцца ў лінгвістыцы.

1.4. Асновы тэхналогіі стварэння і функцыянавання экспертных сістэм.

### **1.1. Вызначэнне экспертнай сістэмы, яе структура і асноўныя кампаненты**

*Экспертная сістэма* (ЭС) – гэта праграма для камп’ютара, якая аперыруе з ведамі ў пэўнай прадметнай вобласці з мэтай выпрацоўкі рэкамендацый ці вырашэння праблем.

ЭС можа поўнасьцю ўзяць на сябе функцыі, выкананне якіх звычайна патрабуе прыцягнення вопыту чалавека-спецыяліста, або адыграць ролю асістэнта для чалавека, што прымае рашэнне. Тэхнічная ці сацыяльная сістэма, якая патрабуе прыняцця рашэння, можа атрымаць яго непасрэдна ад праграмы ці праз прамежкавае звяно – чалавека, які мае зносіны з праграмай. Той, хто прымае рашэнне, можа быць экспертам са сваімі ўласнымі правіламі, і тады праграма можа “апраўдаць” свае існаванне, павышаючы эфектыўнасць яго работы. Альтэрнатыўны варыянт – чалавек, які супрацоўнічае з такой праграмай, можа дасягнуць з яе дапамогай больш высокай якасці. Правільнае размеркаванне функцый паміж чалавекам і машынай з’яўляецца адной з важнейшых умоў высокай эфектыўнасці ўвядзення ЭС.

Тэхналогія ЭС з’яўляецца адным з накірункаў галіны даследавання пад назвай *штучны інтэлект* (*Artificial Intelligence* — AI). Даследаванні ў гэтай галіне сканцэнтраваны на распрацоўцы і ўнядрэнні камп’ютарных праграм, здольных імітаваць сферы дзейнасці чалавека, якія патрабуюць мыслення, пэўнага майстэрства і накоплены вопыт. Да іх адносяцца задачы прыняцця рашэнняў, пазнавання вобразаў, разумення чалавечай мовы. Гэта тэхналогія паспяхова прымяняецца ў пэўных сферах тэхнікі і жыцця грамадства: арганічнай хіміі, пошуку карысных выкапняў, медыцынскай дыягностыцы.

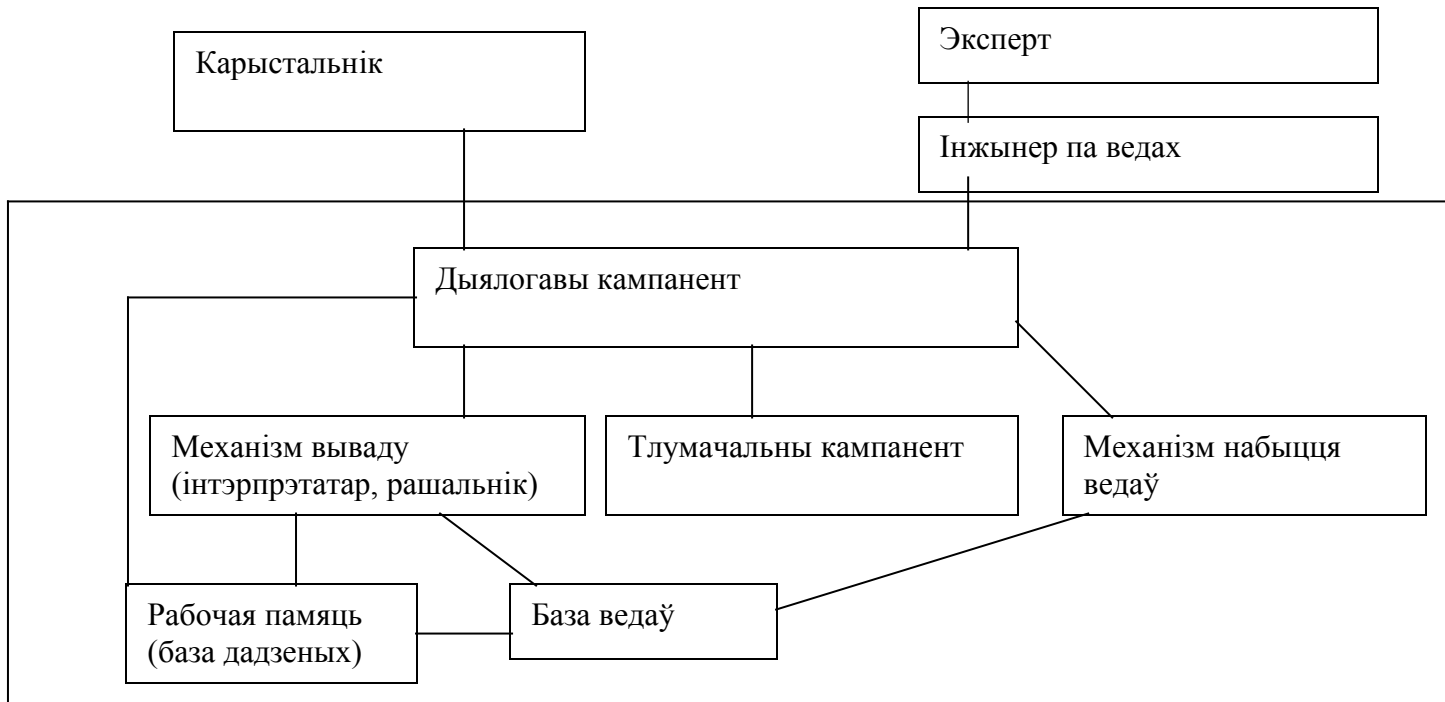
Тыповыя задачы, якія рашаюць ЭС:

- вылучэнне інфармацыі з першасных дадзеных (сігналы з гідралакатара);
- дыягностыка непапраўнасцей (у тэхнічных сістэмах ці ў чалавечым арганізме);
- структурны аналіз складаных аб'ектаў (хімічных злучэнняў);
- выбар канфігурацый складаных шматкампанентных сістэм (размеркаваных камп'ютарных сістэм);
- планаванне паслядоўнасці выканання аперацый, якія прыводзяць да зададзенай мэты (якія, напрыклад, выконваюцца роботамі).

*Архітэктур*а ЭС уключае два асноўныя кампаненты: базу ведаў (сховішча адзінак ведаў) і праграмны інструмент доступу і апрацоўкі ведаў, які складаецца з механізмаў вываду заключэнняў (рашэння), набыцця ведаў, тлумачэння вынікаў і інтэлектуальнага інтэрфейса.

Цэнтральны кампанент ЭС – база ведаў, якая выступае ў адносінах да іншых кампанентаў як змястоўная падсістэма, якая складае асноўную каштоўнасць. ("Know-how" базы ведаў добрай ЭС ацэньваецца ў сотні тысяч долараў, а праграмны інструментарый – у тысячы і дзясяткі тысяч).

### Архітэктура ЭС



*Непасрэдна ў структуры ЭС:*  
рашальнік (інтэрпрэтатар);  
рабочая памяць – база дадзеных;  
база ведаў;  
кампанент набыцця ведаў;  
тлумачальны кампанент;  
дыялогівы кампанент.

*База дадзеных (рабочая памяць)* прызначаецца для захавання зыходных і прамежкавых дадзеных задачы, якая рашаецца ў гэты момант (тэрмін супадае па назве, а не па сэнсе з тэрмінам, што выкарыстоўваецца ў інфармацыйна-пошукавых сістэмах (ІПС) і сістэмах кіравання базамі дадзеных (СКБД) для абазначэння ўсіх дадзеных, якія захоўваюцца ў сістэме).

*База ведаў у ЭС* прызначана для захавання доўгатэрміновых дадзеных, якія апісваюць разгледжаную галіну, і правіл, які запісваюць мэтазгодныя ператварэнні дадзеных гэтай вобласці. База ведаў – сукупнасць адзінак ведаў, якія ўяўляюць сабой фармалізаванае з дапамогай некаторага метаду прадстаўлення ведаў адлюстраванне аб'ектаў праблемнай вобласці і іх узаемасувязей, дзеянняў над аб'ектамі.

*Рашальнік* з зыходных дадзеных з рабочай памяці і ведаў з базы ведаў фарміруе такую паслядоўнасць правіл, якія пры прымяненні да зыходных дадзеных прыводзяць да рашэння задачы.

*Кампанент набыцця ведаў* аўтаматызуе працэс нападнення ЭС ведамі, які здзяйсняе карыстальнік-эксперт.

*Тлумачальны кампанент* тлумачыць, як сістэма атрымала рашэнне задачы (ці чаму не атрымала) і якія веды яны пры гэтым выкарыстала, што аблягчае эксперту тэсціраванне сістэмы і павышае давер карыстальніка да атрыманага выніку.

*Дыялогівы кампанент* арыентаваны на арганізацыю сяброўскіх зносін з карыстальнікам як у ходзе рашэння задач, так і ў працэсе набыцця ведаў і тлумачэння вынікаў работы.

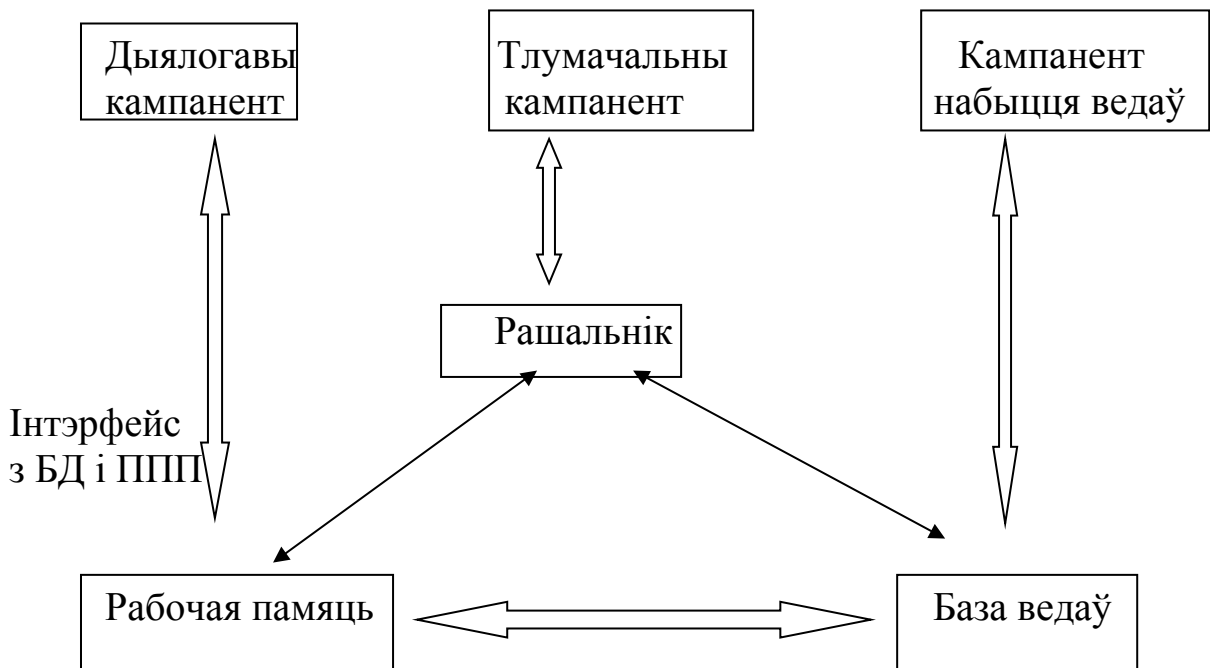
*Інтэлектуальны інтэрфейс* выконвае абмен дадзенымі паміж канечным карыстальнікам і ЭС. Інтэрфейс успрымае паведамленні карыстальніка і ператварае іх у форму прадстаўлення базы ведаў і наадварот: пераводзіць унутранае ўяўленне вынікаў апрацоўкі ў фармат карыстальніка і выдае паведамленне на неабходны носьбіт. Важнейшае патрабаванне да арганізацыі дыялогу карыстальніка з ЭС з'яўляецца натуральнасць, якая не абазначае літаральна фармуляванне патрэбнасцей карыстальніка сказамі натуральнай мовы.

*Механізм вываду* як праграмны інструмент атрымлівае ад інтэлектуальнага інтэрфейса ператвораны ва ўнутранае прадстаўленне

запыт, фарміруе з базы ведаў канкрэтны алгарытм рашэння задачы, выконвае алгарытм, а атрыманы вынік падаецца інтэлектуальнаму інтэрфейсу для выдачы адказу на запыт карыстальніка.

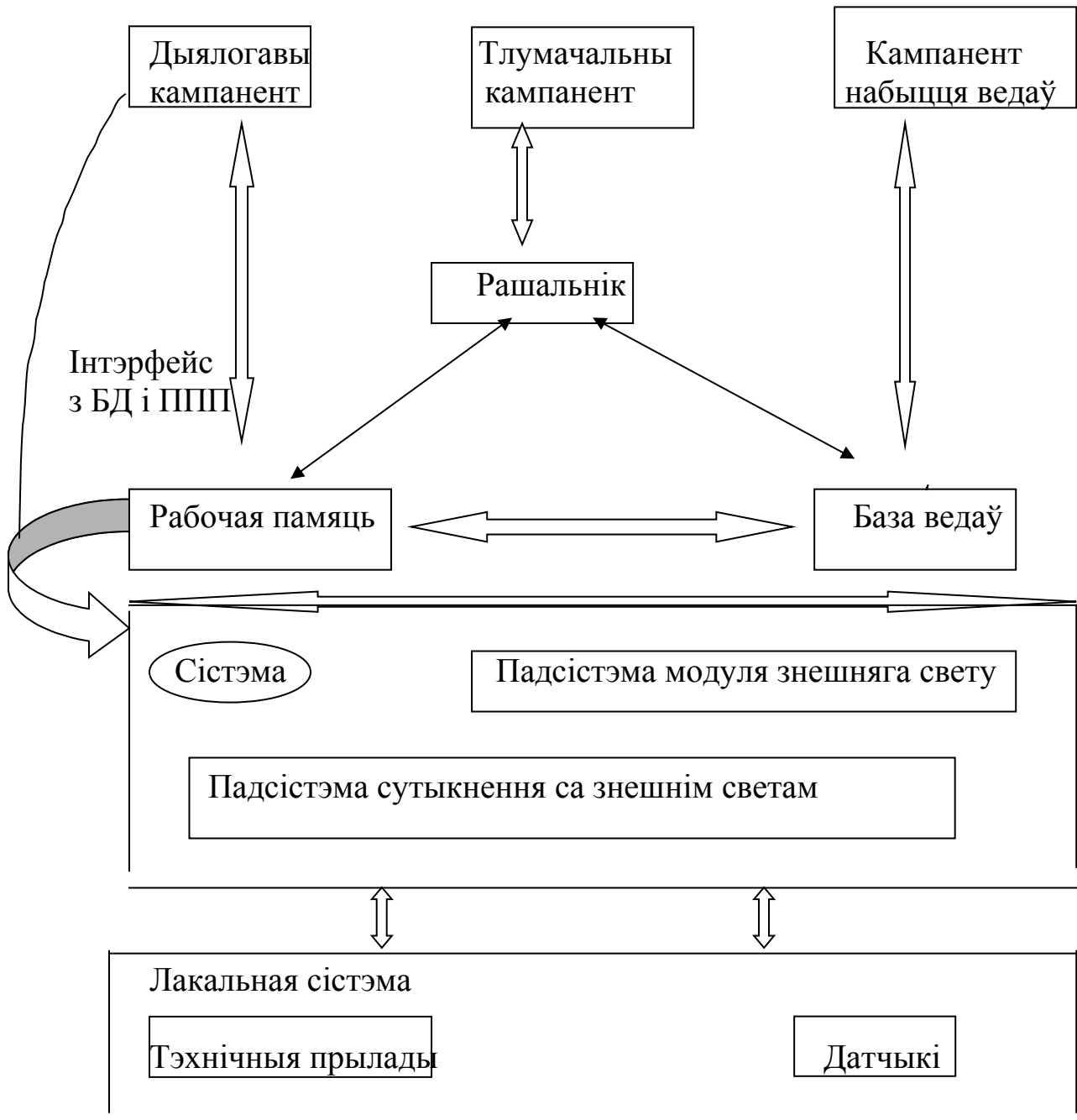
У аснове механізму вываду ляжыць працэс знаходжання ў адпаведнасці з пастаўленай мэтай і апісаннем канкрэтнай сітуацыі (зыходных дадзеных), якія адносяцца да вырашэння адзінак ведаў (правіл, аб'ектаў, прэцэдэнтаў) і звязанню іх пры неабходнасці ў ланцужок разваг, які прыводзіць да пэўных вынікаў.

*Статычныя ЭС* выкарыстоўваюцца ў дадатках, дзе можна не ўлічваць змен акаляючага свету, якія адбываюцца за час рашэння задачы. Першыя ЭС былі статычнымі.



*Структура статычнай ЭС*

У архітэктэру дынамічнай ЭС у параўнанні са статычнай уводзяцца два кампаненты: падсістэма мадэлявання знешняга свету і падсістэма сувязі са знешнім акружэннем. Апошняя здзяйсняе сувязі са знешнім светам праз сістэму датчыкаў і кантролераў. Традыцыйныя кампаненты статычнай ЭС (база ведаў і машына вываду) перажываюць змены, каб адлюстравалі часавую логіку падзей, што адбываюцца ў рэальным свеце.



Структура дынамічнай ЭС

## 1.2 База ведаў як адзін з асноўных элементаў экспертнай сістэмы; база ведаў аб мове: паняцце, асаблівасці, прызначэнне, сферы прымянення

ЭС мадэлюе не столькі фізічную (ці іншую) прыроду праблемы, колькі механізм мыслення чалавека ў працэсе яе рашэння – гэта адрозненне ЭС ад сістэм матэматычнага мадэлявання ці камп’ютарнай анімацыі. Асноўная ўвага ўдзяляецца ўзнаўленню камп’ютарнымі сродкамі метадыкі рашэння праблемы экспертам, г. зн. выкананню некаторай часткі задач таксама або нават лепш за эксперта-чалавека.

ЭС, акрамя выканання вылічальных аперацый, фарміруе пэўныя меркаванні і высновы на грунце тых ведаў, якімі яна валодае. Веды ў сістэме дадзены на пэўнай спецыяльнай мове і захоўваюцца асобна ад уласна праграмнага кода, які і фарміруе высновы і меркаванні. Гэта кампанент праграмы называецца *базай ведаў*.

Пры рашэнні задач асноўнымі з’яўляюцца эўрыстычныя і прыбліжаныя метады, якія, у адрозненне ад алгарытмічных, не заўсёды гарантуюць поспех. Эўрыстыка, па сутнасці, з’яўляецца правілам уплыву (*rule of thumb*), якое ў машынным выглядзе ўяўляе некаторыя веды, набытыя чалавекам па меры накаплення практычнага вопыту рашэння аналагічных праблем. Такія метады з’яўляюцца прыбліжнымі, бо не патрабуюць вычарпальнай зыходнай інфармацыі і існуе некаторая ступень упэўненасці (ці няўпэўненасці) ў тым, што прапанаванае рашэнне з’яўляецца правільным.

ЭС маюць адносіны з прадметамі рэальнага свету, аперацыі з якімі звычайна патрабуюць значнага вопыту чалавека. У той час, як множнасць праграм з галіны штучнага інтэлекту з’яўляюцца даследчыцкімі і асноўная ўвага ў іх удзяляецца абстрактным матэматычным праблемам ці спрошчаным варыянтам рэальных праблем (так званымі “цапачныя” праблемы), а мэтай выканання такой праграмы з’яўляецца “павышэнне ўзроўню інтуіцыі” ці адпрацоўка метадыкі, ЭС маюць выражаную практычную накіраванасцю у навуковай ці камерцыйнай сферы.

Адна з асноўных характарыстык ЭС – яе прадукцыйнасць – хуткасць атрымання вынікаў і іх надзейнасць. Даследчыцкія праграмы штучнага інтэлекту могуць і не быць хуткімі, бо гэта інструмент даследавання. А ЭС павінна за належны час знайсці рашэнне, не горшае за прапанаванае спецыялістам.

ЭС павінна валодаць здольнасцю растлумачыць і абгрунтаваць прапанаванае рашэнне. Карыстальнік павінен атрымаць усю інфармацыю, неабходную яму для упэўненасці ў дакладнасці рашэння. У адрозненне ад даследчыцкіх сістэм, якія маюць “зносінны” толькі са

сваім стваральнікам, які і так ведае, на чым грунтуецца вынік, ЭС праектуюцца з разлікам на ўзаемадзеянне з рознымі карыстальнікамі, для якіх работа ЭС мусіць быць празрыстай.

ЭС часта называюць сістэмай, заснаванай на ведах (*knowledge-based system*). Хаця ЭС – больш шырокае паняцце. Сістэма, заснаваная на ведах – гэта любая сістэма, працэс работы якой заснаваны на прымяненні правіл адносін да сімвалічнай падачы ведаў, а не на выкарыстанні алгарытмічных ці статыстычных метадаў. Так, праграма, здольная разважаць пра надвор’е, будзе сістэмай, заснаванай на ведах. Але толькі здольная прапанаваць прагноз надвор’я праграма мае права называцца метэаралагічнай ЭС.

Такім чынам, ЭС утрымлівае веды ў пэўнай прадметнай вобласці, накопленыя ў выніку практычнай дзейнасці чалавека (чалавецтва), і выкарыстоўвае іх для рашэння праблем, спецыфічных для гэтай вобласці. Працэс стварэння ЭС называецца інжынерыяй ведаў (*knowledge engineering*).

*Прадстаўленне ведаў* – тэорыя прадстаўлення ведаў – асобныя галіна даследаванняў, звязаная з філасофіяй фармалізму і кагнітыўнай псіхалогіяй. Прадмет даследаванняў у гэтай сферы – метады асацыятыўнага захавання інфармацыі, падобныя на тыя, што існуюць у мазгах чалавека з асноўнай увагай лагічнаму, а не біялагічнаму боку працэсу (без фізіялагічных падрабязнасцей).

Прадстаўленне павінна пэўным чынам “стандартызаваць” семантычную разнастайнасць чалавечай мовы.

*Іван – бацька Пятра. Іван – Пятроў бацька. Пятроў бацька – Іван. Бацькам Пятра з’яўляецца Іван.* Фразы выражаюць аднолькавую думку (семантычна ідэнтычныя). Пры машынным прадстаўленні гэтай думкі (веды) трэба знайсці больш просты метада супастаўлення формы і зместу за звычайную чалавечую мову, дасягнуць таго, каб выразы з аднолькавым (ці падобным) зместам былі аднолькавыя па форме:

*бацька (іван, петр)*

У семантыцы выразу павінна быць спецыфікавана (разам з іншымі рэчамі), што першае імя належыць бацьку, другое – нашчадку, а не наадварот.

Сказы *Іван – бацька Сцяпана. Бацькам Пятра з’яўляецца Іван* маюць падобны сэнс, але больш відавочна ранжыраваць іх у форме:

*бацька (іван, петр). бацька (іван, сцяпан)*

У галіне ЭС прадстаўленне ведаў – сродак пошуку метадаў фармальнага апісання большых масіваў карыснай інфармацыі з мэтай іх наступнай апрацоўкі з дапамогай сімвалічных вылічэнняў.

У якасці метадаў прадстаўлення ведаў часцей за ўсё выкарыстоўваюцца правілы, якія ўяўляюць сабой канструкцыі:

калі (if) <умова>

то (then) <заклучэнне> CF (Факта вызначанасці) <значэнне>

У якасці фактараў вызначанасці (CF) выступаюць або ўмоўныя верагоднасці байесаўскага падыходу (ад 0 да 1) (тэарэма Байеса), або каэфіцыенты упэўненасці недакладнай логікі (ад 0 да 100).

Прыклад правіл:

Правіла 1: калі каэфіцыент рэнтабельнасці  $> 0.2$ , то рэнтабельнасць = “задавальн.” CF 100

Правіла 2: калі запазычанасць = “няма” і рэнтабельнасць = “задавальн.”, то фінансавы стан = “задавальн.” CF 80.

Правіла 3: калі фінансавы стан = “задавальн.” і рэпутацыя = “задавальн.”, то надзейнасць прадпрыемства = “задавальн.” CF 90

(Тэарэма Байеса сцвярджае:

$$P(H : E) = P(E : H) * P(H) / (P(E : H) * P(H) + P(E : не H) * P(не H)).$$

Верагоднасць здзяйснення нейкай гіпотэзы H пры наяўнасці пэўных пацвярджаючых пасведчанняў E вылічваецца на аснове апрыёрнай верагоднасці гэтай гіпотэзы без пацвярджаючых пасведчанняў і верагоднасці здзяйснення пры умове, што гіпотэза верная ці няверная.

Формула  $P(A \& B) = P(A : B)P(B)$  зацвярджае, што верагоднасць адначасовага здзяйснення падзей A і B роўная ўмоўнай верагоднасці A пры зададзеным B, памножанай на верагоднасць B.

Напрыклад, жадаем ведаць аб сумесным наступленні падзей A і B. Калі падзея B сапраўды адбылася, то існуе  $P(A : B)$  – верагоднасць таго, што адбываецца падзея A. Падзея B адбываецца з верагоднасцю  $P(B)$ , таму трэба дапусціць, што гэта велічыня таксама павінна фігураваць у формуле сумеснай верагоднасці з’яўлення падзей A к B. Таму памнажаем  $P(A : B)$  на  $P(B)$ , якая менш за 1, што паменшае агульную верагоднасць адказу з улікам таго факту, што B наступае не заўсёды.

Так, верагоднасць дажджу заўтра і сёння разглядаюцца як сумесныя падзеі:  $P(D \& M) = P(D : M)P(M)$ , верагоднасць таго, што дождж будзе і сёння, і заўтра, роўная верагоднасці дажджу заўтра пры ўмове, што сёння сыра, памножанай на верагоднасць дажджу сёння, ці  $P(D \& M) = 0,6 P(M)$ . Калі сёння суха, то  $P(D \& C) = 0,45P(C)$ , што адпавядае выражэнню

$$P(D \& C) = P(D : C) P(C).$$



Але мы хацелі атрымаць верагоднасць дажджу заўтра  $P(D)$ . Гэта велічыня роўная суме сумеснай верагоднасці дажджу сёння і заўтра і сумеснай верагоднасці таго, што заўтра будзе дождж, а сёння сухое надвор'е:

$P(D) = P(D \& M) + P(D \& C) = P(D|M)P(M) + P(D|C)P(C) = 0,6P(M) + 0,45P(C)$ . Сёння дзень быў ці сырым, ці сухім, г.зн.  $P(M) + P(C) = 1$ , як гэта і павінна было быць пры 2 выйсцях. Урэшце атрымліваем  $P(D) = 0,6P(M) + 0,45P(C) = 0,6P(M) + 0,45(1 - P(M)) = 0,6P(M) + 0,45 - 0,45P(M) = 0,15P(M) + 0,45$ .

Фармальнае апісанне – гэта упарадкаванне ў межах нейкай мовы, якая валодае дастаткова дакладна фармалізаваным сінтаксісам пабудовы выказаў і такога самага ўзроўню семантыкай, якая звязвае з сэнс выразу з яго формай.

Сімвалічныя вылічэнні – гэта выкананне нелічбавых аперацый, у якіх могуць быць сканструяваны сімвалы і сімвалыя структуры для прадстаўлення разнастайных канцэптаў і адносін паміж імі.

У галіне штучнага інтэлекту вядзецца інтэнсіўная работа па стварэнні моў прадстаўлення (*representation languages*) – камп'ютарныя мовы, арыентаваныя на арганізацыю апісанняў аб'ектаў і ідэй, у супрацьвагу статычным паслядоўнасцям інструкцый ці захаванню простых элементаў дадзеных. Асноўныя крытэрыі доступу да прадстаўлення ведаў – лагічная адэкватнасць, эўрыстычная магутнасць і натуральнасць, арганічнасць натацыі.

Лагічная адэкватнасць – здольнасць прадстаўлення ўбачыць усе адрозненні, якія закладзены ў зыходную сутнасць (нельга падаць ідэю. Што кожнае лякарства мае пабочны непажаданы эфект, калі нельга правесці адрозненне паміж прызначэннем лякарства і яго пабочным эфектам: аспірын – язва страўніка – выраз, які перадае гэты эфект: кожнае лякарства валодае непажаданым пабочным эфектам, спецыфічным для гэтага прэпарата).

Эўрыстычная магутнасць – існаванне разам з выразнай мовай прадстаўлення нейкага сродку выкарыстання прадстаўлення, сканструяваных і інтэрпрэтаваных такім чынам, каб з іх дапамогай можна было вырашыць праблему. Часта бывае, што мова з большай выяўленчай здольнасцю ў тэрмінах колькасці семантычных адрозненняў з'яўляецца больш складанай у кіраванні апісаннем узаемасувязей у працэсе рашэння праблемы. Здольнасць да выражэння ў многіх са знойдзеных фармалізмаў можа быць дастаткова абмежаванай у параўнанні з англійскай мовай ці стандартнай логікай.

Узровень эўрыстычнай магутнасці можа разглядацца па выніках, па тым, наколькі лёгка выцягнуць патрэбныя веды прымяняльна да

канкрэтнай сітуацыі. Ведаць, якія веды найбольш падыходзяць да рашэння канкрэтнай праблемы – адна з якасцей, якая адрознівае эксперта ў пэўнай галіне ад проста начытанага чалавека.

Натуральнасць натацыі – дабрачыннасць сістэмы, паколькі большасці дадаткаў, пабудаваных на базе ЭС, патрабуецца назапашванне большага аб'ёму ведаў. Выразы, якія фармальна апісваюць веды, павінны быць па магчымасці простымі для напісання, а іх сэнс мусіць разумецца нават таму, хто не ведае, як камп'ютар інтэрпрэтуе гэтыя выразы. Прыклад – дэкларатыўны праграмны код, які сам дае дастаткова дакладнае ўяўленне аб працэсе яго выканання таму, хто не ведае дэталей рэалізацыі камп'ютарам асобных інструкцый. У 80-я гады былі прапанаваны згоды, прыдатныя для кадзіравання ведаў на моўным узроўні: *нараджаючыя правілы (production rules)* [Davis and King, 1977], *структураваныя аб'екты (structured objects)* [Findler, 1979], *лагічныя праграмы (logic programs)* [Kowalski, 1979].

У большасці ЭС выкарыстоўваецца адзін ці некалькі з пералічаных фармалізмаў.

#### *Загадка аднаго партрэта*

Чалавек глядзіць на партрэт і кажа:

*У мяне няма братаў і сёстраў, але бацька гэтага чалавека – гэта сын майго бацькі.*

Хто намаляваны на партрэце?

Адказ: бацька глядзіць на партрэт сына (чалавек, які глядзіць на партрэт – бацька чалавека, які намаляваны на партрэце).

Лагічнае прадстаўленне:

Хай Іван – чалавек на партрэце, Сцяпан – чалавек, які глядзіць на партрэт.

Сын майго бацькі: сын(бацька(сцяпан)), отец(іван).

У мяне няма братаў і сёстраў:

for all X,

if сын(бацька(сцяпан), X) then X=сцяпан.

Тут сын – гэта адносіны паміж двума людзьмі, а бацька – гэта функцыя, бо кожны мае толькі аднаго бацьку. З гэтага сцверджання пасля падстаноўкі відавочна наступнае:

бацька (іван) = сцяпан. Такім чынам, Сцяпан глядзіць на партрэт свайго сына.

#### *Прадстаўленне ведаў у ЭС*

Асноўнае пытанне пры прадстаўленне ведаў – вызначэнне саставу ведаў, *што менавіта прадстаўляць у ЭС*. Наступнае пытанне – *як*

*прадстаўляць*. Гэтыя праблемы не з'яўляюцца незалежнымі. Абраны спосаб прадстаўлення можа быць непрыдатным або неэфектыўным для выражэння некаторых ведаў.

Пытанне як *прадстаўляць* можна падзяліць на 2 незалежныя задачы: як арганізаваць (структураваць) ведаў і як прадставіць ведаў ў абраным фармалізме.

Імкненне выдзеліць арганізацыю ведаў у самастойную задачу выклікана тым, што задача ўзнікае для любой мовы прадстаўлення і спосабы рашэння гэтай задачы з'яўляюцца аднолькавымі (ці падобнымі) па-за залежнасцю ад выкарыстаннага фармалізму.

Пры прадстаўленні ведаў неабходна:

- вызначэнне саставу прадстаўленых ведаў;
- арганізацыя ведаў;
- прадстаўленне ведаў – вызначэнне мадэлі прадстаўлення.

Састаў ведаў ЭС вызначаецца наступнымі фактарамі:

- праблемным асяроддзем;
- архітэктурай ЭС;
- патрэбнасцямі і мэтамі карыстальніка;
- мовай зносін.

У адпаведнасці з агульнай схемай ЭС для яе функцыянавання патрэбныя ведаў:

- аб працэсе вырашэння задачы (кіруючыя ведаў), якія выкарыстоўваюцца інтэрпрэтатарам (рашальнікам);
- аб мове і спосабах арганізацыі дыялога, якія выкарыстоўваюцца лінгвістычным працэсарам (дыялогавым кампанентам);
- аб спосабах прадстаўлення і мадыфікацыі ведаў, якія выкарыстоўваюцца кампанентам набыцця ведаў;
- падтрымліваючыя структурныя і кіруючыя ведаў, якія выкарыстоўваюцца тлумачальным кампанентам.

Для дынамічнай ЭС, акрамя таго, неабходныя:

- 1) ведаў аб метадах узаемадзеяння са знешнім асяроддзем;
- 2) ведаў аб мадэлі знешняга свету.

Залежнасць саставу ведаў аб патрабаванняў карыстальніка праяўляецца ў наступным:

- якія задачы (з агульнага набору) і з якімі дадзенымі хоча рашыць карыстальнік;
- якія пераважныя спосабы і метады рашэння;
- пры якіх абмежаваннях на колькасць вынікаў і спосабы іх атрымання павінна быць вырашана задача;
- якія патрабаванні да мовы зносін і арганізацыі дыялогу;
- якая ступень агульнасці (канкрэтнасці) ведаў аб праблемнай вобласці, даступная карыстальніка;

- якія мэты карыстальнікаў.

Састаў ведаў аб мове залежыць як ад мовы зносін, так і ад запатрабаванага ўзроўню разумення.

З улікам архітэктуры ЭС веда мэтазгодна падзяляць на тыя, што тлумачацца (інтэрпрэтуюцца), і тыя, што не інтэрпрэтуюцца.

Да першых адносяцца веды, якія здольны інтэрпрэтаваць рашальнік (інтэрпрэтатар). Усе астатнія веды адносяцца да другога тыпу. Рашальнік не ведае іх структуры і зместу. Калі гэтыя веды выкарыстоўваюцца пэўным кампанентам сістэмы, то ён не “усведамляе” гэтых ведаў. Веды, што не інтэрпрэтуюцца, падзяляюцца на *дапаможныя*, якія захоўваюць інфармацыю аб лексіцы і граматыцы мовы зносін, інфармацыю аб структуры дыялогу, і *падтрымліваючыя* веды. Дапаможныя веды апрацоўваюцца натуральна-моўнай кампанентай, але ход гэтай апрацоўкі рашальнік не усведамляе, бо гэты этап апрацоўкі уваходных паведамленняў з’яўляецца дапаможным для правядзення экспертызы. Падтрымліваючыя веды выкарыстоўваюцца пра стварэнні сістэмы і пры выкананні тлумачэнняў. Падтрымліваючыя веды выконваюць ролю апісанняў (абгрунтаванняў) як ведаў, якія інтэрпрэтуюцца, так і дзеянняў сістэмы. Падтрымліваючыя веды падзяляюцца на *тэхналагічныя* і *семантычныя*. Тэхналагічныя падтрымліваючыя веды ўтрымліваюць звесткі аб часе стварэння апісаных імі ведаў, аб аўтары ведаў. Семантычныя падтрымліваючыя веды ўтрымліваюць сэнсавае апісанне гэтых ведаў. Яны ўтрымліваюць інфармацыю аб прычынах увода ведаў, аб прызначэнні ведаў, апісваюць спосаб выкарыстання ведаў і атрыманы эфект. Падтрымліваючыя веды маюць апісальны характар.

Веды, якія інтэрпрэтуюцца, можна падзяліць на *прадметныя*, *кіруючыя* і *веды аб прадстаўленні*. Веды аб прадстаўленні ўтрымліваюць інфармацыю аб тым, якім чынам (у якіх структурах) у сістэме прадстаўлены веды, якія інтэрпрэтуюцца.

Прадметныя веды ўтрымліваюць дадзеныя аб прадметнай вобласці і спосабах ператварэння гэтых дадзеных пры рашэнні пастаўленых задач. У адносінах да прадметных ведаў веды аб прадстаўленні і веды ад кіравання з’яўляюцца *метаведамі*. У прадметных ведах можна выдзеліць апісальнікі і ўласна прадметныя веды. Апісальнікі ўтрымліваюць пэўную інфармацыю аб прадметных ведах, такую, як каэфіцыент пэўнасці правіл і дадзеных, меры важнасці і складанасці. Уласна прадметныя веды разбіваюцца на факты і выкананыя сцверджанні. Факты вызначаюць магчымыя значэнні сутнасцей і характарыстык прадметнай вобласці.

Выкананыя сцверджанні ўтрымліваюць інфармацыю, як можна змяняць апісанне прадметнай вобласці ў ходзе рашэння задач.

Выкананья сцверджанні – гэтыя веды, якія задаюць працэдуры апрацоўкі. Аднак гэтыя веды могуць быць зададзены не толькі ў працэдурай, але ў дэкларатыўнай форме.

Кіруючыя веды можна падзяліць на *факусіруючыя* і *рашаючыя*. Факусіруючыя веды апісваюць, якія веды трэба выкарыстаць у той ці іншай сітуацыі. Звычайна факусіруючыя веды ўтрымліваюць звесткі аб найбольш перспектыўных аб'ектах ці правілах, якія мэтазгодна выкарыстаць пры праверцы адпаведных гіпотэз. У першым выпадку ўвагу факусіруецца на элементах рабочай памяці, у другім – на правілах базы ведаў.

Рашаючыя веды ўтрымліваюць інфармацыю, якая выкарыстоўваецца для выбару спосабу інтэрпрэтацыі ведаў, які падыходзіць да дадзенай сітуацыі. Гэтыя веды прымяняюцца для выбару стратэгіі ці эўрыстык, найбольш эфектыўных для вырашэння задачы.

Якасныя і колькасныя паказчыкі ЭС могуць быць значна палепшаны за кошт выкарыстання *метаведаў*, ведаў аб ведах. Метаведы могуць прымяняцца для дасягнення розных мэт:

- метаведы ў выглядзе стратэгічных метаправіл выкарыстоўваюцца для выбару рэлевантных правіл;

- метаведы выкарыстоўваюцца для абгрунтавання мэтазгоднасці прымянення правіл з вобласці экспертызы;

- метаправілы выкарыстоўваюцца для пошуку сінтаксічных і семантычных памылак у прадметных правілах;

- метаправілы дазваляюць сістэме адаптавацца да асяроддзя шляхам перабудовы прадметных правіл і функцый;

- метаправілы дазваляюць яўна ўказаць магчымасці і абмежаванні сістэмы, гэты абазначае вызначыць, што сістэма ведае, а што не ведае.

Пытанні арганізацыі ведаў неабходна разглядаць у любым прадстаўленні, і іх рашэнне ў значнай ступені не залежыць аб абранага спосабу (мадэлі) прадстаўлення.

Аспект праблемы арганізацыі ведаў:

- арганізацыя ведаў па ўзроўнях прадстаўлення і па ўзроўнях дэталёвасці;
- арганізацыя ведаў у рабочай памяці;
- арганізацыя ведаў у базе ведаў.

Паказчыкам інтэлектуальнасці сістэмы з пункту погляду прадстаўлення ведаў лічыцца здольнасць сістэмы выкарыстоўваць у патрэбны момант неабходныя (*рэлевантныя*) веды. Сістэмы, якія не маюць сродкаў для вызначэння рэлевантных ведаў, непазбежна сутыкаюцца з праблемай “камбінаторнага выбуху”. Можна сцвярджаць, што гэты праблема з’яўляецца адной з асноўных прычын, якія

абмяжоўваюць сферу прымянення ЭС. У праблеме доступу да ведаў можна выдзеліць тры аспекты:

*звязнасць ведаў і дадзеных,  
механізм доступу да ведаў,  
спосаб супастаўлення.*

Звязнасць (агрэгацыя) ведаў з'яўляецца асноўным спосабам, які забяспечвае паскарэнне пошуку рэлевантных ведаў. Большасць спецыялістаў прыйшлі да сцверджання, што веды трэба арганізоўваць вакол найбольш важных аб'ектаў (сутнасцей) прадметнай вобласці. Усе веды, якія характарызуюць некаторую сутнасць, звязваюцца і ўяўляюцца ў выглядзе асобнага аб'екта. Пры падобнай арганізацыі ведаў, калі сістэме патрабавалася інфармацыя аб некаторай сутнасці, то яна шукае аб'ект, які апісвае гэтую сутнасць, а затым ужо ўнутры аб'екта адшуквае інфармацыю аб дадзенай сутнасці. У аб'ектах мэтазгодна выдзяляць два тыпы звязкаў паміж элементамі: *знешнія і ўнутраныя.*

Унутраныя звязкі аб'ядноўваюць элементы ў адзіны аб'ект і прызначаны для выражэння структуры аб'екта. Знешнія звязкі адлюстроўваюць узаемазалежнасці, якія існуюць паміж аб'ектамі ў галіне экспертызы. Многія даследчыкі класіфікуюць знешнія звязкі на лагічныя і асацыятыўныя. Лагічныя звязкі выражаюць семантычныя адносіны паміж элементамі ведаў. Асацыятыўныя звязкі прызначаны для забеспячэння ўзаемасувязей, здольных паскарэнню працэсу пошуку рэлевантных ведаў.

Асноўная праблема пры рабоце з вялікай базай ведаў – праблема пошуку ведаў, рэлевантных задачы. У сувязі з тым, што ў апрацаваных дадзеных можа не ўтрымлівацца яўных указанняў на значэнні, якія патрабуюцца для іх апрацоўкі, неабходны больш агульны механізм доступу за метада прамого доступу (метада яўных спасылак). Задача гэтага механізма – па некаторым апісанні сутнасці, якое маецца ў рабочай памяці, знайсці ў базе ведаў аб'екты, якія задавальняюць гэтаму апісанню. Упарадкаванне і структураванне ведаў могуць значна паскорыць працэс пошуку.

Знаходжанне жаданых аб'ектаў у агульным выпадку магчыма разглядаць як двух'этапны працэс. На першым этапе – працэсе выбару па асацыятыўных сувязях – здзяйсняецца папярэдні выбар у базе ведаў патэнцыяльных кандыдатаў на ролю жаданых аб'ектаў. На другім этапе шляхам выканання аперацыі супастаўлення патэнцыяльных кандыдатаў з апісанніямі кандыдатаў здзяйсняецца канчатковы выбар пошукавых аб'ектаў. Пры арганізацыі падобнага механізму доступу ўзнікае пэўныя цяжкасці: як абраць крытэрыі прыдатнасці кандыдата, як арганізаваць работу ў канфліктных сітуацыях.

Аперацыя супастаўлення можа выкарыстоўвацца не толькі як сродак выбару патрэбнага аб'екта з мноства кандыдатаў; яна можа быць выкарыстана для класіфікацыі, пацвярджэння, дэкампазіцыі і карэкцыі. Для ідэнтыфікацыі невядомага аб'екта ён можа быць супастаўлены з некаторымі вядомымі ўзорамі. Гэта дазваляе класіфікаваць невядомы аб'ект як такі вядомы ўзор, пры супастаўленні з якім былі атрыманы лепшыя вынікі. Пры пошуку супастаўленне выкарыстоўваецца для пацвярджэння некаторых кандыдата з мноства магчымых. Калі здзяйсняць супастаўленне некаторага вядомага аб'екта з невядомым апісаннем, то ў выпадку паспяховага супастаўлення будзе здзяйсняцца дэкампазіцыя апісання.

Аперацыі супастаўлення разнастайныя. Звычайна выдзяляюць іх формы:

сінтаксічнае, параметрычнае, семантычнае, прымушанае супастаўленні.

У выпадку сінтаксічнага супастаўлення суадносяць формы (узоры), а не змест аб'ектаў. Паспяховым з'яўляецца супастаўленне, у выніку якога ўзоры аказваюцца ідэнтычнымі. Звычайна лічыцца, што пераменная аднаго ўзору можа быць ідэнтычная любой канстанце (ці выражэнню) іншага ўзору. Часам на пераменныя, якія ўваходзяць ва ўзор, накладваюць патрабаванні, якія вызначаюць тып канстантаў, з якімі яны могуць, супастаўляцца. Вынік сінтаксічнага супастаўлення з'яўляецца бінарным: узоры супастаўляюцца ці не супастаўляюцца.

У параметрычным супастаўленні ўводзіцца параметр, які вызначае ступень супастаўлення. У выпадку семантычнага супастаўлення суадносяцца не ўзоры аб'ектаў, а іх функцыі.

У выпадку прымушанага супастаўлення адзін супастаўлены ўзор разглядаецца з пункту погляду іншага. У адрозненне ад іншых тыпаў супастаўлення тут заўсёды можа быць атрыманы станочы вынік. Пытанне складаецца ў сіле прымусу. Прымус могуць выконваць спецыяльныя працэдуры, звязаныя з аб'ектамі. Калі гэтыя працэдуры не ў стане здзейсніць супастаўленне, то сістэма паведамляе, то поспех можа быць дасягнуты толькі ў тым выпадку, калі пэўныя часткі разгледжаных сутнасцей можна лічыць тымі, што супастаўляюцца.

### *База ведаў аб мове*

Папулярнай ЭС у лінгвістыцы выступае ЭС падтрымкі перакладу (ЭСПП).

База ведаў ЭСПП утрымлівае інфармацыю, неабходную для вырашэння задач патрэбнага тыпу, у выглядзе правіл і фактаў. Механізм вываду ўяўляе сабой агульны алгарытм вырашэння задач, які рэалізуецца ў выглядзе інтэрпрэтатара. Прымяненне механізму вываду

да базы ведаў аб канкрэтнай прадметнай вобласці, якая задаецца экспертам, і да дадзеных аб бягучай сітуацыі, якая задаецца карыстальнікам, дае вырашэнне патрэбнай задачы. Інтэрфейс з карыстальнікам прызначаны для ўзаемадзеяння з ім у час вырашэння задачы, і ў залежнасці ад тыпу задачы, можа выкарыстаць сродкі аналізу фраз на натуральна мове, выбару меню, графічнага ўводу і вываду. Пры стварэнні ЭСПП неабходна ўлічваць наступныя аспекты захавання і перапрацоўкі ведаў:

- змест ведаў;
- рэпрэзентацыя ведаў, форма захавання, прызначаная для эфектыўнага пошуку, пераўпарадкавання і мадыфікавання;
- фармалізацыя аб'ектных ведаў (ведаў аб мове – аб'екце);
- перапрацоўка тэкстаў як паслядоўнасці слоў;
- інтэрпрэтацыя сінтаксічных структур і перавод іх у лексічнае прадстаўленне пры ўліку кантэксту;
- прадстаўленне ведаў унутры самой сістэмы;
- распрацоўка дапаможных сродкаў для фармалізацыі, захавання і пошуку ведаў пры апрацоўцы паказанняў экспертаў.

База ведаў здзяйсняе работу механізму ЭСПП на аснове трансфармацыйнай (нараджаючай) граматыкі, якая ўяўляе сабой сістэму правіл, што эксперыментальным чынам прыпісвае сказам структурныя апісанні. Любая трансфармацыйная граматыка мае ў сваім складзе морфасінтаксічны, морфаналагічны і семантычны кампаненты.

Морфасінтаксічны кампанент вызначае бясконцае мноства абстрактных фармальных аб'ектаў, кожны з якіх уключае ў сябе ўсю інфармацыю, істотную для адной інтэрпрэтацыі канкрэтнага сказа.

Морфаналагічны кампанент вызначае фанетычную форму сказа, які нараджаецца сінтаксічнымі правіламі. Гэты кампанент суадносіць структуру, якая нараджаецца сінтаксічным кампанентам, з фанетычна рэпрэзентаваным сігналам.

Семантычны кампанент вызначае семантычную інтэрпрэтацыю сказа, суадносіць структуру, якая нараджаецца морфасінтаксічным кампанентам, з пэўнай семантычнай рэпрэзентацыяй.

Такім чынам, морфасінтаксічны кампанент граматыкі павінен указваць для кожнага сказа глыбінную структуру, якая абумоўлівае яго семантычную інтэрпрэтацыю і павярхоўную структуру, што вызначае яго фанетычную інтэрпрэтацыю.

Асноўная ідэя трансфармацыйнай граматыкі – ідэя аб тым, што павярхоўная структура задаецца неаднаразовым прымяненнем пэўных фармальных аперацый, якія называюцца “граматычнымі трансфармацыямі”, да аб'ектаў элементарнага выгляду.



База морфасінтаксічнага кампанента – сістэма правіл, якая нараджае канечнае мноства базавых ланцужкоў. Кожнае з правіл мае звязанае аб сістэме структурнае апісанне і называецца базавым паказчыкам структуры складніка. Гэтыя базавыя паказчыкі з’яўляюцца элементарнымі адзінкамі, якія складаюць глыбінныя структуры. У аснове сказа ляжыць паслядоўнасць базавых паказчыкаў, кожны з якіх нараджаецца базай сінтаксічнага кампанента. Агульны сэнс залежыць не толькі ад сэнсу слоў сказа, але і ад сінтаксічнай структуры сказа. Сінтаксічная структура сказа – гэта сукупнасць звестак аб сувязях паміж словамі і словазлучэннямі сказа.

### *Віды правіл базы ведаў ЭСПП*

У якасці адзінак захавання – элементарных ведаў – выступаюць не толькі дэкларатыўныя звесткі, але і зменныя ад эксперта да эксперта прадпісанні – прадукцыйныя правілы, што рабіць пры пэўным стане даследаванага аб’екта.

Задача лінгвіста – фармулёўка лінгвістычных правіл – правіл мовы і маўлення. Мадэляванне лінгвістычных правіл як базавага набору прадвызначае адпаведную архітэктuru ЭС. У даследаванні складанне правіл базы ведаў заснавана на методыцы спалучальнасці слоў адно з адным у працэсе ўтварэння іх граматычных формаў, іншымі словамі распазнаванне тых ці іншых граматычных формаў слоў у сказе і выяўленне іх марфалагічнай і сінтаксічна-семантычнай прыналежнасці магчыма здзейсніць у межах спалучэнняў гэтых словаформаў адна з адной. Сінтаксічны падзел сказа на словазлучэнні з унутранымі падпарадкавальнымі сувязямі, рэдка дапасаваннем і прымыканне прадвызначае работу сінтаксічнага блоку аналізу.

Веды ЭСПП – гэта набор прадукцыйных правіл, кожнае з якіх складаецца з антэцэдэнта (умовы) і кансеквента (выніку). На простае мовы карыстальніка правіла складаецца з правай і левай частак. Веды ЭСПП – гэта комплекс правіл уніфікацыйнай граматыкі, якая ўключае ў свой склад элементы граматык розных відаў:

- кантэкстна-свабодная граматыка – забяспечвае марфалагічны аналіз і сінтэз і з’яўляецца асновай аналізатараў; элементы кантэкстна-свабоднай граматыкі фармалізуюць апісанне моўнай мадэлі як фармальнай граматыкі з канечнай колькасцю станаў;

- ланцужковая граматыка; элементы ланцужковай граматыкі фіксуюць парадак праходжання аб’ектаў ланцужку фармальна-моўнай мадэлі, г.абазн. лінейныя структуры сказа фармальнай моўнай мадэлі, зададзеныя ў тэрмінах граматычных класаў слоў;

- граматыка непасрэдна складнікаў разам з ланцужковай граматыкай забяспечваюць сінтаксічны аналіз і сінтэз.

У ЭСПП прымяняецца стратэгія аналізу “злева направа”: перабор слоў, праверка ўмоў, наяўнасць ці адсутнасць змяненняў па ўмовах і дабаўленне недастатковых элементаў фармальна ўяўляюць сабой камп’ютарную рэалізацыю граматыкі з канечнай колькасцю станаў ці кантэкстна-свабоднай граматыкі, пабудаванай на ланцужковай граматыкі.

У базе ведаў ЭСПП сінтаксічная структура сказа можа ўяўляцца:

1) дрэвам сінтаксічнага дапасавання ці падпарадкавання лінейных вузлоў, г.абазн. словы ў сказе знаходзяцца ў несіметрычных адносінах адзін да аднаго (адны словы падпарадкоўваюць сабе іншыя), а фармальнае падпарадкаванне складаецца ў тым, што адно слова вызначае граматычную форму іншага;

2) дрэвам сінтаксічнага падпарадкавання ці проста дрэвам падпарадкавання, зададзеным на мностве словаформаў сказа.

3) улікам морфасінтаксічных і семантычных прыкмет англійскай і рускай моў правілы ў базе ведаў прадстаўляюцца наступнымі відамі спалучанасці:

- назоўнік у назоўным склоне + назоўнік у прыналежным склоне (катэгорыя прыналежнасці);

- прыназоўнік + артыкль + назоўнік;

- прыназоўнік + назоўнік (склонавыя эквіваленты ў рускай мове);

- назоўнік + to be (катэгорыя выказніканасці назоўнікаў);

- назоўнік + адзіночны лік / множны лік + дзеяслоў (часавыя формы дзеяслова залежнага і незалежнага стану).

Уласна сінтаксічныя правілы падзяляюцца на іменную, прыназоўнікавую і дзеяслоўную групы. У фармальным апісанні правілы можна падзяліць на правілы распазнавання, правілы нараджэння, правілы падстаноўкі.

### **1.3 Віды і тыпы экспертных сістэм; экспертныя сістэмы, якія прымяняюцца ў лінгвістыцы**

Існуюць разнастайныя тыпалогіі ЭС.

Па спосабу фарміравання рашэння:

*аналітычныя* – мяркуюць выбар рашэнняў з мноства вядомых альтэрнатывы (вызначэнне характарыстык аб’ектаў);

*сінтэтычныя* – мяркуюць генерацыю невядомых рашэнняў (фарміраванне аб’ектаў).

Па спосабе ўліку часовай прыкметы:

*статычныя* – вырашаюць задачы пры нязменных у працэсе рашэння дадзеных і ведах; здзяйсняюць манатоннае непарарыўнае рашэнне задачы ад уводу зыходных дадзеных да канчатковага выніку;

*дынамічныя* – дапускаюць змяненні; прадугледжваюць магчымасць перагляду ў працэсе рашэння атрыманых раней вынікаў і дадзеных.

Па відах выкарыстаных дадзеных і ведаў:

*сістэмы з дэтэрмінаванымі (дакладна вызначанымі) ведамі і нявызначанымі ведамі*; нявызначанасць ведаў (дадзеных) – іх непаўнота (адсутнасць), недаставернасць (недакладнасць вымярэння), двухсэнсоўнасць (шматзначнасць паняццяў), недакладнасць (якая ацэнка замест колькасцей).

Па колькасці выкарыстаных крыніц ЭС могуць будавацца з *выкарыстаннем адной ці мноства крыніц ведаў*. Крыніцы ведаў могуць быць альтэрнатыўнымі (мноства светаў) ці дапаўняючымі адна адну (кааперуючыя).

Па тыпе выкарыстаных метадаў і ведаў:

*традыцыйныя* – выкарыстоўваюць нефармалізаваныя метады інжынерыі ведаў і нефармалізаваныя веды, атрыманыя ад экспертаў;

*гібрыдныя* – выкарыстоўваюць і метады інжынерыі ведаў, і фармалізаваныя метады, а таксама дадзеныя традыцыйныя праграмавання і матэматыкі.

Па ступені складанасці структуры:

*павярхоўныя* – прадстаўляюць веды аб вобласці экспертызы ў выглядзе правіл (умова – дзеянне). Умова кожнага правіла вызначае ўзор некаторай сітуацыі, пры якой правіла можа быць выканана. Пошук рашэння – гэта выкананне правіл, узоры якіх супастаўляюцца з бягучымі дадзенымі (бягучай сітуацыяй у рабочай памяці). У працэсе пошуку рашэнняў паслядоўнасць сфарміраваных такім чынам сітуацый не абарвецца да атрымання рашэння, г.абазн. не ўзнікне невядомай сітуацыі, якая не супаставіцца ні з адным правілам;

*глыбінныя* – акрамя магчымасцей павярхоўныя сістэм, валодаюць здольнасцю пры ўзнікненні невядомай сітуацыі вызначаць з дапамогай некаторых агульных прынцыпаў, справядлівых для вобласці экспертызы, якія дзеянні трэба выканаць.

Сукупнасць указаных характарыстык дазваляе вызначыць асаблівасці канкрэтнай ЭС. Карыстальнікі імкнуцца ахарактарызаваць ЭС адным абагуленым параметрам. З гэтай прычыны кажуць пра пакаленні ЭС.

Да першага пакалення адносяцца статычныя павярхоўныя ЭС, да другога – статычныя глыбінныя ЭС, часам гібрыдныя ЭС, да трэцяга – дынамічныя (яны будуць і глыбінныя, і гібрыдныя).

Задачы, якія рашаюць ЭС, характарызуюцца аспектамі: колькасцю і складанасцю правіл у задачы, звязнасцю правіл, прасторай пошуку,

колькасцю актыўных агентаў, якія мяняюць прадметную вобласць, класам вырашаных задач.

Выдзяляюць наступныя тыпы задач:

- інтэрпрэтацыя дадзеных – выбар рашэння з фіксаванага мноства альтэрнатыв на базе уведзенай інфармацыі аб бягучай сітуацыі; асноўнае прызначэнне – вызначэнне сутнасці разгледжанай сітуацыі, выбар гіпотэз: ЭС аналізу фінансавага стану прадпрыемства;

- дыягностыка – выяўленне прычын, якія прывялі да ўзнікнення сітуацыі, патрабавання папярэдняга інтэрпрэтацыя сітуацыі з наступнай праверкай дадатковых фактаў: выяўленне фактараў зніжэння эфектыўнасці вытворчасці;

- карэкцыя – дыягностыка, дапоўненая магчымасцю ацэнкі і рэкамендацыі дзеянняў па выпраўленні адхіленняў ад нармальнага стану разгледжаных сітуацый;

- канструяванне, праектаванне – распрацоўка аб'екта з зададзенымі ўласцівасцямі пры устаноўленых абмежаваннях (вызначэнне канфігурацыі аб'ектаў з пункту погляду дасягнення зададзеных крытэрыяў эфектыўнасці і абмежаванняў): праектаванне бюджэту прадпрыемства ці партфелю інвестыцый;

- прагназаванне – прадказанне наступстваў развіцця бягучых сітуацый на аснове матэматычнага і эўрыстычнага мадэлявання: прагназаванне трэндаў на біржавых таргах;

- планаванне – вызначэнне паслядоўнасці дзеянняў, якія прыводзяць да жаданага стану аб'екта: планаванне працэсаў пастаўкі прадукцыі;

- дыспетчыраванне – размеркаванне работ у часе, састаўленне раскладу: планаванне графіка засваення ўкладаў капіталу;

- маніторынг – назіранне за зменным станам аб'екта і параўнанне яго паказчыкаў з устаноўленымі ці пажаданымі: маніторынг збыту гатовай прадукцыі;

- кіраванне – уздзеянне на аб'ект для дасягнення жаданых паводзін (маніторынг, дапоўнены рэалізацыяй дзеянняў у аўтаматычных сістэмах): прыняцце рашэння на біржавых таргах.

У адпаведнасці з пералічанымі прыкметамі класіфікацыі выдзяляюцца 4 асноўныя класы ЭС:

	Аналіз	Сінтэз	
Дэтэрмінаванасць ведаў	<i>Класіфікуючыя</i>	<i>Трансфармуючыя</i>	Адна крыніца ведаў
Нявызначанасць ведаў	<i>Давызначаючыя</i>	<i>Шматагентныя</i>	Мноства крыніц ведаў
	Статыстыка	Дынаміка	

*Класіфікуючыя* ЭС вызначаюць прыналежнасць сітуацыі да некаторага класа, вырашаюць аналітычныя задачы: разгляд сітуацыі, калі па наборы зададзеных прыкмет (фактараў) выяўляецца сутнасць некаторай сітуацыі, у залежнасці ад якой абіраецца пэўная паслядоўнасць дзеянняў, сярод альтэрнатыўных рашэнняў знаходзіцца адно, найлепшым чынам задавальняючае пастаўленай мэце і абмежаванням. Асноўны метады фарміравання рашэнняў – метады лагічнай дэдуктыўнай высновы ад агульнага да прыватнага, калі шляхам падстаноўкі зыходных дадзеных ў некаторую сукупнасць узаемазвязаных агульных сцверджанняў атрымліваецца прыватнае заключэнне.

*Давызначаючыя* ЭС вырашаюць больш складаны тып аналітычных задач, якія рашаюцца на аснове няпэўных зыходных дадзеных і прымененых ведаў. Т.ч. ЭС якбы давызначае недастатковыя веды, а ў прасторы рашэнняў можа атрымлівацца некалькі магчымых рашэнняў з рознай верагоднасцю ці ўпэўненасцю ў неабходнасці іх выканання. Метады работы – байесаўскі верагоднасны падыход, каэфіцыенты ўпэўненасці, недакладная логіка. Давызначаючыя ЭС могуць выкарыстоўваюць для фарміравання рашэння некалькіх крыніц ведаў. Тады выкарыстоўваюцца эўрыстычныя прыёмы выбару адзінак ведаў з іх канфліктнага набору, напрыклад, на аснове выкарыстання прыярытэтаў важнасці, ці атрыманай ступені пэўнасці вынікаў, ці значэнняў функцый пераваг.

Для аналітычных задач класіфікуючага і давызначаючага тыпаў характэрны праблемныя вобласці: інтэрпрэтацыя дадзеных, дыягностыка, карэкцыя.

*Трансфармуючыя* ЭС – у адрозненне ад аналітычных статычных ЭС сінтэзуючыя дынамічныя ЭС мяркуюць паўторанае ператварэнне ведаў у працэсе рашэння задач, што звязана з характарам вынікаў, якія нельга загадзя прадвызначыць, а таксама з дынамічнасцю праблемнай вобласці.

Метады рашэння задач – разнавіднасці гіпатэтычнай высновы: генерацыі і тэсціравання – па зыходных дадзеных здзяйсняецца генерацыя гіпотэз, а потым праверка сфармуляваных гіпотэз на пацвярджанне паступаючымі фактамі;

меркаванняў і замоўчванняў – па няпоўных дадзеных падбіраюцца веды аб аналагічных класах аб'ектаў, якія ў далейшым дынамічна адаптуюцца да канкрэтнай сітуацыі ў залежнасці ад яе развіцця;

выкарыстанне агульных заканамернасцей (метакіраванні) – у выпадку невядомых сітуацыя дазваляюць генерыраваць недастатковыя веды.

*Шматагентныя ЭС* – характарызуюцца інтэграцыяй у базе ведаў некалькіх разнастайных крыніц ведаў, якія абменьваюцца паміж сабой атрыманымі вынікамі на дынамічнай аснове (напрыклад, праз “дошку аб’яў”).

Асаблівасці шматагентных сістэм:

- правядзенне альтэрнатыўных разваг на аснове выкарыстання розных крыніц ведаў з механізмам ухілення супрацьпастаўленняў;
- размеркавальнае рашэнне праблем, якія разбіваюцца на паралельна вырашаныя падпраблемы, адпаведныя самастойным крыніцам ведаў;
- прымяненне мноства стратэгіі работы механізму вываду заключэнняў у залежнасці ад тыпу вырашанай праблемы;
- апрацоўка большых масіваў дадзеных, якія ўтрымліваюцца ў базе дадзеных;
- выкарыстанне розных матэматычных мадэляў і знешніх працэдур, захаваных у базе мадэляў;
- здольнасць перарывання рашэнняў задач у сувязі з неабходнасцю атрымання дадатковых дадзеных і ведаў ад карыстальнікаў, мадэляў, паралельна вырашаных падпраблем.

Для сінтэзуючых дынамічных ЭС найбольш прымяняльныя праблемныя вобласці: праектаванне, прагназаванне, дыспетчараванне, планаванне, маніторынг, кіраванне.

Найбольш раннія і важныя існуючыя ЭС наступныя:

Mycin (Стэнфардскі ўніверсітэт, ЗША) – адна з першых і найбольш вядомых ЭС, распрацавана ў сярэдзіне 70-х гадоў 20 ст., прызначана для дыягностыкі інфекцыйных захворванняў.

JUDITH — адна з першых юрыдычных ЭС, якая дазваляе юрыстам атрымаць экспертныя заключэнні па грамадзянскіх справах, распрацавана ў 1975 г. у Гейдэльбергскім і Дармштадскім універсітэтах (Германія).

INTERNIST (ЗША) – ЭС дыягнастуе некалькі сотняў хвароб з дакладнасцю дыягназу кваліфікаванага ўрача.

PROSPECTOR — ЭС дапамагае геологам у пошуку новых карысных выкапняў, на аснове інфармацыі, уведзенай у ЭВМ з геаграфічных картаў, з аглядаў і адказаў на пытанні, якія задаюцца геологам, ЭС прадказвае месцазнаходжанне новых залежаў; выкарыстанне ЭС дазволіла знайсці залежы малібдэну ў Брытанскай Калумбіі (Канада).

TIMM (распрацоўшчык General Research) – дапамагае ваеннаму пілоту верталёта ў час баявых дзеянняў.

MANAGEMENT ADVISOR (кансультант менеджара) – распрацавана Paladin Software, Inc. у 1986 г.; дапамагае кіраўніку ў планаванні камерцыйнай дзейнасці.

XCON (Carnegie-Melon University) – прызначана для вызначэння канфігурацыі камп'ютараў пры іх продажы; пакупнік заказвае ЭВМ з канкрэтнымі характарыстыкамі, а ЭС дазваляе аптымальна падабраць камплектуючыя (тып дысплея, працэсара, гукавой кары, аб'ём відэапамяці).

EXPERTAX (Coopert and Lybrand) – ЭС рыхтуе рэкамендацыі рэвізорам і падатковым спецыялістам у падрыхтоўцы разлікаў па падатках і падрыхтоўцы фінансавых дэкларацый, база ведаў адлюстроўвае вопыт звыш за 20 экспертаў.

ЭС выкарыстоўваюць для навучання і трэніроўкі кіраўнікоў і спецыялістаў, бо ЭС ўтрымліваюць неабходныя веды і здольны растлумачыць працэс сваёй развагі. Неабходна толькі дадаць праграмае забеспячэнне, якія падтрымліваюць адпаведны патрабаванням эрганомікі інтэрфейс паміж навучэнцам і ЭС, веды аб метадах навучання і магчымымі паводзінамі карыстальніка. У якасці інструмента навучання ЭС забяспечвае новых супрацоўнікаў вялікім багажом вопыту і стратэгіі, па якіх можна вывучаць рэкамендаваную палітыку і метады. Сістэму можна таксама адаптаваць для навучання навічкоў канкрэтным заданням.

ЭС выкарыстоўваюцца практычна ва ўсіх галінах творчасці. Колькасна пераважае пры гэтым медыцына, вытворчасць, бізнес. Прымяняюцца ЭС і ў арміі, транспарце, космасе, адукацыі, навуцы, хіміі.

Належнае месца занялі ЭС у лінгвістыцы. Першы за ўсё адзначаюцца ЭС машыннага перакладу, заснаваныя на базе марфалагічных і сінтаксічных ведаў, распрацаваныя на аснове двухузроўневай мадэлі, якая дазваляе без дадатковага праграмавання ствараць апісанні марфалагічнай структуры натуральнай мовы і спісы працэдур. Такая мадэль мае магчымасць выкарыстоўваць марфалагічныя працэдурны ў прыкладных праграмах на мовах Сі, Пралог і інш.

Уяўляе цікавасць і ЭС марфалагічных ведаў, якая дазваляе правесці марфалагічную інтэрпрэтацыю тэксту (тлумачэнне словаформаў) на аснове пастаяннага абнаўлення ведаў.

ЭС падтрымкі перакладу (ЭСПП) рэалізавана на базе праграмы Delphi 7, якая прымяняецца для стварэння сістэм кіравання базамі дадзеных і ведаў. Дадзеная ЭС працуе ў 2 рэжымах:

- пераклад фраз (словазлучэнняў на аснове морфасінтаксічнага аналізатара);

- паслоўны пераклад, заснаваны на марфалагічным аналізе – выкарыстоўваецца як аварыйны сродак, калі нельга пабудаваць сінтаксічную структуру і выканаць пераклад у поўным рэжыме.

Для рэалізацыі морфасінтаксічнага аналізу ствараецца комплекс праграм, які ўключае марфалагічны аналізатар, што апісвае граматычную інфармацыю). Ствараецца пералік морфасінтаксічных і семантычных прыкмет для моў, інфармацыя аб прыкметах уключаецца ў слоўнікавыя артыкулы камбінаванага слоўніка дзвюх моў (мовы арыгінала і мовы перакладу).

ЭСПП з’яўляецца сістэмай падтрымкі навучання і перакладу на аснове базы ведаў. База ведаў ствараецца для канкрэтнай прадметнай вобласці, з уключэннем у слоўнік слоў нейтральнай лексікі. Сістэма ўключае ў свой склад розныя аб’екты і звязваючыя іх правілы.

Першапачатковае стварэнне слоўніка на аснове нейтральнай лексікі неабходна для праверкі работы морфанематычных, марфалагічных і сінтаксічных правіл. Пры пэўных параметрах (вызначаная тэхнічная тэматыка, павярхоўны слоўнік, павярхоўна структурная граматыка) выкарыстанне аналізатара можа павысіць эфектыўнае навучанне перакладу, адначасова мець магчымасць навучання абраным рабочым мовам.

ЭСПП можна ахарактарызаваць як эксперыментальную дзвюхмоўную сістэму машыннага перакладу, якая выкарыстоўвае поўную марфалогію і павярхоўны сінтаксіс рабочых моў. Працэс перакладу з адной мовы на іншую зводзіцца да пераадолення разыходжанняў паміж мовамі. У ЭСПП міжмоўныя адрозненні часткова здымаюцца на кожным з этапаў аналізу, у асноўным на этапе трансферу. Цяжкасць пераадолення разыходжанняў абумоўлена тым, што паміж значнымі элементамі англійскай і рускай моў часам цяжка знайсці адпаведнасць. Адны значэнні могуць кадзіравацца рознымі сродкамі: марфалагічнымі, лексічнымі, сінтаксічнымі:

*when in Austria – будучы в Аўстрыі;*

*the weather permitting – калі погода дазволіць.*

ЭСПП – моўная мадэль перакладных адпаведнікаў, якая працуе на аснове трансфармацыйнай граматыкі з элементамі граматыкі непасрэдна складаючых і канечных аўтаматаў.

ЭСПП арыентавана на канкрэтную галіну экспертызы (пераклад тэкстаў з адной мовы на іншую), здольная рабіць вывады (дакладна сфармуляваныя ўмовы правіл прадвызначаюць якасці, належныя канечным аўтаматам), здольная папаўняцца па ходзе і ў выніку работы ахопліваць усё больш шырокія наборы ведаў, заснавана на наборы правіл (у тым ліку, на практычных правілах, сфармуляваных чалавекам-экспертам).



## 1.4 Асновы тэхналогіі стварэння і функцыянавання экспертных сістэм

У *распрацоўцы* ЭС удзельнічаюць:  
эксперт у праблемнай галіне, задачы якой рашае ЭС;  
інжынер па ведах – спецыяліст па распрацоўцы ЭС;  
праграміст па распрацоўцы інструментальных сродкаў, прызначаных для паскарэння распрацоўкі ЭС.

Эксперт вызначае веды (дадзеныя і правілы), якія характарызуюць праблемную галіну, забяспечвае паўнату і правільнасць уведзеных у ЭС ведаў.

Інжынер па ведах дапамагае эксперту выявіць і структураваць веды, неабходныя для работы ЭС, здзяйсняе выбар таго інструментальнага сродку, які найбольш падыходзіць для дадзенай праблемнай вобласці, і вызначае спосаб прадстаўлення ведаў у гэтым інструментальным сродку, выдзяляе і праграмуе (традыцыйнымі сродкамі) стандартныя функцыі (тыповыя для дадзенай праблемнай галіны), якія будуць выкарыстаны ў правілах, якія ўводзяцца экспертам.

Праграміст распрацоўвае інструментальныя сродкі (калі інструментальныя сродкі распрацоўваюцца занава), якія ўтрымліваюць усе асноўныя кампаненты ЭС, і здзяйсняе яго далучэнне да таго асяроддзя, у якой яны будуць выкарыстоўвацца.

ЭС працуе ў 2 рэжымах:

рэжым набыцця ведаў; рэжым рашэння задачы (рэжым кансультацыі ці рэжым карыстання ЭС).

У рэжыме набыцця ведаў зносіны з ЭС здзяйсняе (праз пасрэдніцтва інжынера па ведах) эксперт. У гэтым рэжыме эксперт, выкарыстоўваючы кампанент набыцця ведаў, напайняе сістэму ведамі, якія дазваляюць ЭС у рэжыме рашэння самастойна (без эксперта) рашаць задачы з праблемнай галіны. Эксперт апісвае праблемную галіну ў выглядзе сукупных дадзеных і правіл. Дадзеныя вызначаюць аб'екты, іх характарыстыкі і значэнні, якія існуюць у галіне экспертызы. Правілы вызначаюць спосабы маніпулявання з дадзенымі, характэрныя для разгледжанай галіны.

Рэжыму набыцця ведаў у традыцыйным падыходзе да распрацоўкі праграм адпавядаюць этапы алгарытмізацыі, праграмавання і наладкі, якія выконваюцца праграмістам.

У адрозненне ад традыцыйнага падыходу ў выпадку ЭС распрацоўку праграм здзяйсняе не праграміст, а эксперт (з дапамогай ЭС), які не валодае праграмаваннем.

У рэжыме кансультацыі зносіны з ЭС здзяйсняе канечны карыстальнік, якога цікавяць вынікі і спосаб іх атрымання. У залежнасці ад прызначэння ЭС карыстальнік можа не быць спецыялістам у дадзенай праблемнай галіне (звяртаецца да ЭС за вынікамі, не ўмеючы яго атрымаць сам) або быць спецыялістам (звяртаецца да ЭС з мэтай паскорыць атрыманне вынікаў).

У рэжыме кансультацыі дадзеныя пра задачу карыстальніка пасля апрацоўкі іх дыялогавым кампанентам паступаюць у рабочую памяць. Рашальнік на аснове уваходных дадзеных з рабочай памяці, агульных дадзеных аб праблемнай галіне і правіл з базы ведаў фарміруе рашэнне задачы. ЭС пры рашэнні задачы не толькі выконвае зададзеную паслядоўнасць аперацыі, але папярэдне фарміруе яе.

Калі рэакцыя сістэмы не зразумелая карыстальніку, то ён можа патрабаваць тлумачэння.

### *Этапы распрацоўкі ЭС*

Распрацоўка ЭС мае адрозненні ад распрацоўкі звычайнага праграмага прадукту. Вопыт стварэння ЭС паказаў, што выкарыстанне пры іх распрацоўцы метадалогіі, прынятай у традыцыйным праграмаванні, празмерна зацягвае працэс стварэння ЭС або прыводзіць да адмоўных вынікаў.

Выкарыстоўваць ЭС неабходна толькі, калі распрацоўка ЭС магчыма, апраўдана і метады інжынерыі ведаў адпавядаюць задачы.

#### *Патрабаванні для распрацоўкі ЭС:*

1 існуюць эксперт, што рашаюць задачу лепш за пачынаючых спецыялістаў;

2 эксперты згаджаюцца ў ацэнцы прынятага рашэння, інакш нельга ацаніць якасць распрацаванай ЭС;

3 эксперт здольны вербалізаваць і растлумачыць выкарыстаныя імі метады, інакш цяжка разлічваць на тое, што веды будуць выцягнуты і ўкладзены ў ЭС;

4 рашэнне задачы патрабуе толькі разваг, а не дзеянняў;

5 рашэнне задачы павінна заняць некалькі гадзін ці дзён, а не тыдняў;

6 задача павінна быць выражана ў фармальным выглядзе, але павінна адносіцца да дастаткова “зразумелай” і структураванай галіне, павінны быць выдзелены асноўныя паняцці, адносіны і вядомыя (эксперту) спосабы атрымання рашэння задачы;

7 рашэнне задачы не павінна выкарыстоўваць “здоровы сэнс” (шырокі спектр агульных звестак аб свеце і спосабе яго

функцыянавання, якія ведае і можа выкарыстаць любы чалавек), бо падобныя веды немагчыма ўкласці ў сістэмы штучнага інтэлекту.

*Фактары прымянення ЭС:*

- рашэнне задачы прынясе значны эфект (эканамічны);
- выкарыстанне чалавека-эксперта немагчыма або з-за недастатковай колькасці, або з-за неабходнасці выконваць экспертызу адначасова ў розных месцах;
- пры перадачы інфармацыі эксперту адбываецца страта часу ці інфармацыі;
- неабходнасць рашаць задачу ў асяроддзі, варажым для чалавека.

Дадатак адпавядае метадам ЭС, калі *задача валодае характарыстыкамі:*

1 можа быць натуральным чынам вырашана шляхам маніпуляцыі з сімваламі (з дапамогай сімвалічных разваг), а не маніпуляцыяй з лічбамі (як прынята ў матэматычных метадах і ў традыцыйным праграмаванні);

2 мае эўрыстычную, а не алгарытмічную прыроду – рашэнне патрабуе эўрыстычных правіл; задачы, які могуць быць гарантавана вырашаны (з захаваннем зададзеных абмежаванняў) з дапамогай некаторых фармальных працэдур, не падыходзяць для прымянення ЭС;

3 дастаткова складаная, каб апраўдаць затраты на распрацоўку ЭС, але не празмерна складаная, каб ЭС магла яе рашаць;

4 дастаткова вузкая, каб вырашацца метадамі ЭС і практычна значная.

Пры распрацоўцы ЭС выкарыстоўваецца канцэпцыя “хуткага прататыпу” – распрацоўшчыкі на пачатковым этапе ствараюць прататып (прататыпы ЭС). Прататыпы павінны задавальняць 2 супрацьлеглым патрабаванням:

- рашаць тыповыя задачы канкрэтнага дадатку;
- час і працаёміскасць распрацоўкі прататыпаў павінны быць нязначнымі, каб можна было максімальна запаралеліць працэс збору і адладкі ведаў (здзяйсняе эксперт) з працэсам выбару (распрацоўкі) праграмных сродкаў (інжынер па ведах і праграміст).

Прататып павінен дэманстраваць прыдатнасць метадаў інжынерыі ведаў да дадзенага дадаткова. У выпадку поспеху эксперт з дапамогай інжынера па ведах пашырае веды прататыпу аб праблемнай галіне. Пры няўдачы можа патрабавацца распрацоўка новага прататыпу або распрацоўшчыкі могуць перайсці да высновы пра непрыдатнасць метадаў ЭС для дадзенага дадатку. Па меры павелічэння ведаў прататып можа дасягнуць стану, калі ён паспяхова рашае ўсе задачы дадатку.

Перапратварэнне прататыпу ЭС ў канечны прадукт звычайна прыводзіць да перапрагмавання ЭС на мовах нізкага ўзроўню, якія забяспечваюць як павелічэнне хуткадзееання ЭС, так і памяншэнне запатрабаванай памяці.

Працаёмістасць і час стварэння ЭС залежаць ад тыпу выкарыстанага інструментарыя.

*Тэхналогія стварэння ЭС* уключае 6 этапаў:

*ідэнтыфікацыя* – вызначаюцца задачы, якія неабходна вырашыць, выяўляюцца мэты распрацоўкі, вызначаюцца эксперты і тыпы карыстальнікаў;

*канцэптуалізацыя* – праводзіцца змястоўны аналіз праблемнай вобласці, выяўляюцца выкарыстаныя паняцці і іх узаемасувязі, вызначаюцца метады рашэння задач;

*фармалізацыя* – абіраюцца інструментальныя сродкі і вызначаюцца спосабы прадстаўлення усіх відаў ведаў, фармалізуюцца асноўныя паняцці, вызначаюцца спосабы інтэрпрэтацыі ведаў, мадэлюецца работа сістэмы, ацэньваецца адэкватнасць мэтам сістэмы зафіксаваных паняццяў, метадаў рашэнняў, сродкаў прадстаўлення і маніпулявання ведамі;

*выкананне* – здзяйсняецца нападўненне экспертам базы ведаў; самы важны і працаёмісты этап; набыццё ведаў падзяляюць вылучэнне ведаў з эксперта, арганізацыю ведаў, якая забяспечвае эфектыўную работу сістэмы, і прадстаўленне ведаў у выглядзе, зразумелым ЭС. Працэс набыцця ведаў здзяйсняецца інжынерам па ведах на аснове аналізу дзейнасці эксперта па рашэнні рэальных задач;

*тэсціраванне*;

*вопытная эксплуатацыя.*

## Праверачныя пытанні

- 1 Што такое экспертная сістэма (ЭС)?
- 2 Якія тыповыя вырашаюць задачы ЭС?
- 3 Якія кампаненты ўваходзяць у структуру ЭС?
- 4 Чым адрозніваюцца статычная і дынамічная ЭС?
- 5 Тэарэма Байеса.
- 6 Прадстаўленне ведаў у ЭС.
- 7 Па якіх крытэрыях дыферэнцыруюцца ЭС?
- 8 Найбольш раннія і важныя існуючыя ЭС.
- 9 Як ЭС прымяняюцца ў лінгвістыцы?
- 10 Хто ўдзельнічае з распрацоўцы ЭС?
- 11 Этапы распрацоўкі ЭС.

## ЛІТАРАТУРА

### Асноўная

1. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.
2. Гладкий, А. В. Синтаксические структуры естественного языка. - М.: ЛКИ, 2007.
3. Гладкий, А. В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 144 с.
4. Головня, А. И. Омонимия как системная категория языка: монография. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2007. – 132 с.
5. Джексон, П. Введение в экспертные систем / П. Джексон – М.: Наука, 2001. – 615 с.
6. Евдокимова, И. С. Естественно-языковые системы.– Улан-Удэ, 2006.
7. Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации / В. В. Голенков, В. Б. Тарасов, О. Е. Елисеева и др.; Под ред В. В. Голенкова, В. Б. Тарасова. – Мн.: БГУИР, 2001. –
8. Искусственный интеллект : В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы : справочник / под ред. Э. В. Попова. – М. : Радио и связь, 1990.
9. Лекомцев, Ю. К. Введение в формальный язык лингвистики. – М., 1983.
10. Люгер, Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание : пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
11. Нейлор, К. Как построить свою экспертную систему; пер.с англ. / К. Нейлор. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.

### Дадатковая

12. Анисимов, А. В. Компьютерная лингвистика для всех: Мифы. Алгоритмы. Язык / А. В. Анисимов. – Киев: Наук. думка, 1991. – 208 с.
13. Баранов, А. Н. Фреймы и сценарии. Категории искусственного интеллекта в лингвистической семантике. – М., 1987.
14. Библиотека Российской ассоциации искусственного интеллекта. Статьи, книги, материалы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://raai.org/library/library.shtml?link>. – Дата доступа: 02.05.2012.
15. Девятков, В. В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 352 с.
16. Зубов, А. В. Информационные технологии в лингвистике: Учеб пособие для студ. лингв. фак-тов высш. учеб заведений / А. В. Зубов, И.И. Зубова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 208 с.

17. Компьютерный синтаксический анализ: описание моделей и направлений разработок / Г. Д. Карпова, Ю. К. Пирогова, Т. Ю. Кобзарева, Е. В. Макаэлян // Итоги науки и техники. Серия «Вычислительные науки». Том 6. – М., 1991. – 243 с.
18. Образование и XXI век: Информационные и коммуникационные технологии / Под ред. Кинелева В. Г. – М.: Наука, 1999. - с.
19. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие / Э. В. Попов, И. Б. Фоминых, Е. Б. Кисель, М. Д. Шапот. - М.: Финансы и статистика, 1996. – 320 с.
20. Хант, Э. Искусственный интеллект: Пер. с англ. Д. А. Белова, Ю. И. Крюкова, под ред. В. Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1978. – 560 с.
21. Частиков, А.П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А.П. Частиков, Т.А. Гаврилова, Д.Л. Белов– СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.