

УДК 378.016: 621.81

DOI <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2019-64-16-28>

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ «ПАРОВИЙ КОТЕЛ» І НАВЧАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОЗНАК ЦЬОЇ МОДЕЛІ

©Гулей О. Б., Васюченко П. В.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### Інформація про авторів:

**Гулей Олександр Богданович:** ORCID 0000-0002-5323-6450; alg4897@yahoo.com; доцент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна

**Васюченко Павло Вікторович:** ORCID 0000-0003-4850-1288; pvasyuchenko@gmail.com; доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Успішний розвиток енергетичної галузі України потребує фахівців-теплоенергетиків високого рівня професійної підготовки. Традиційно така підготовка базується на вивченні курсу інженерної дисципліни «Паливо, топки і парові котли ТЕС і АЕС». Відповідно до змісту дисципліни, технологію виробництва теплової енергії на ТЕС і АЕС можна позначити як складну систему, інтегруючим і визначальним компонентом якої служить паровий котел. Отже, необхідно відзначити істотне протиріччя між різким зростанням інформаційного наповнення досліджуваної дисципліни з одночасним зменшенням термінів часу на її вивчення. Тому ця робота присвячена розробці та впровадженню в навчальний процес моделі представлення знань про парові котли на ТЕС і АЕС, де однією з головних характеристик цієї моделі є адекватність психічним процесам і механізмам засвоєння та репрезентації знань у пам'яті людини. Врешті-решт це повинно підвищити ефективність навчального процесу.

За результатами літературного огляду основних підручників із дисципліни, на які найчастіше посилаються сьогодні в методичних та наукових роботах, проведено аналіз репрезентації системи існуючих базових понять для опису технології генерації пари в парових котлах на ТЕС. Доведено, що в якості базової моделі для репрезентації та формування понять, перевагу треба віддавати моделі на основі семантичних ознак. Така модель забезпечує необхідні умови для розвитку логіки роздумів, формування наукового світогляду про взаємозв'язки процесів і об'єктів, розкриття дії законів тепло- і масопереносу, які визначають дану технологію. На основі отриманих результатів розроблено концептуальну модель формування поняття «Прямоточний паровий котел надкритичних параметрів». Модель містить множини ієрархічних ознак, що репрезентують призначення, структуру, склад, побудову, принципи, механізми дії та функціонування, параметри, характеристики та властивості парового котла.

У свою чергу, для такої моделі обґрунтовано і розроблено орієнтовану на навчання класифікацію понять, що описують модель формування поняття паровий котел. У ієрархії ознак класифікації виділяються визначальні ознаки, які роблять можливою ефективну репрезентацію цієї моделі. Тут в якості визначальної ознаки та ознака, до якої найбільш чутлива головна характеристика роботи котла, – параметри пари (робочого тіла), яку він виробляє. Основною перевагою використання такої визначальної ознаки є те, що студент на початковому етапі вивчення парового котла при формуванні образної моделі його, звертається до вже вивчених раніше і відомих понять і фізичних законів.

**Ключові слова:** фахівець-теплоенергетик, паровий котел, поняття, репрезентація, концептуальна модель, визначальна ознака, призначення, структура, склад, принципи дії, параметри, класифікація, ієрархія, тиск.

**Гулей А. Б., Васюченко П.Ю.** «Концептуальная модель формирования понятия "паровой котел" и обучающая классификация признаков этой модели»

Успешное развитие энергетической отрасли Украины востребует специалистов-теплоэнергетиков высокого уровня профессиональной подготовки. Традиционно такая подготовка базируется на изучении курса инженерной дисциплины «Топливо, топки и паровые котлы ТЭС и АЭС». Согласно содержания дисциплины, технологию производства тепловой энергии на ТЭС и

АЭС можно обозначить как сложную систему, интегрирующим и определяющим компонентом которой служит паровой котел. В свою очередь, необходимо отметить существенное противоречие между резким ростом информационного наполнения изучаемой дисциплины с одновременным уменьшением сроков времени на ее изучение. Поэтому данная работа посвящена разработке и внедрению в учебный процесс модели представления знаний о паровых котлах на ТЭС и АЭС, в которой одной из главных характеристик является адекватность психическим процессам и механизмам усвоения и репрезентации знаний в памяти человека. В конечном итоге это должно повысить эффективность учебного процесса.

По результатам литературного обзора основных учебников по дисциплине, на которые наиболее часто ссылаются сегодня в методических и научных работах, проведен анализ репрезентации системы существующих базовых понятий для описания технологии генерации пара в паровых котлах на ТЭС. Показано, что в качестве базовой модели для репрезентации и формирования понятий, предпочтение следует отдавать модели на основе семантических признаков. Такая модель обеспечивает необходимые условия для развития логики размышлений, формирования научного мировоззрения о взаимосвязи процессов и объектов, раскрытия действия законов тепло- и массопереноса, которые определяют данную технологию. На основе полученных результатов разработана концептуальная модель формирования понятия «Прямоточный паровой котел сверхкритических параметров». Модель содержит множества иерархических признаков, представляющих назначение, структуру, состав, построение, принципы, механизмы действия и функционирования, параметры, характеристики и свойства парового котла.

В свою очередь, для такой модели обоснована и разработана ориентированная на обучение классификация понятий, описывающих модель формирования понятия паровой котел. В иерархии признаков ее выделяются определяющие признаки, которые делают возможной эффективную презентацию этой модели. Здесь в качестве определяющего выбран признак, к которому наиболее чувствительна главная характеристика работы котла, – параметры пара (рабочего тела), который он производит. Основным преимуществом использования такого определяющего признака является то, что студент на начальном этапе изучения парового котла при формировании образной модели его, обращается к уже изученным ранее и известным понятиям и физическим законам.

**Ключевые слова:** специалист-теплоэнергетик, паровой котел, понятие, репрезентация, концептуальная модель, определяющий признак, назначение, состав, принципы действия, параметры, классификация, иерархия, давление.

**O.Guley, Vasyuchenko P.** «Conceptual model of the formation of the concept "a steam boiler" and training-oriented classification of the features of this model»

Successful development of the energy sector of Ukraine will need specialists in thermal power engineering with a high level of vocational training. Traditionally, such training is based on the study of the specialized course "Fuel, furnaces and steam boilers at thermal power plants and nuclear power plants". According to the content of the discipline, the technology of thermal energy production at thermal power plants and nuclear power plants can be described as a complex system, whose integrating and defining component is a steam boiler. In turn, it is necessary to note a significant contradiction between a sharp increase in the informational content of the discipline in focus and a dramatic reduction in the time span for its study. Therefore, this work is devoted to the development of the model of the representation of knowledge about steam boilers at thermal power plants and nuclear power plants, one of the main characteristics being the adequacy of mental processes and mechanisms of knowledge acquisition and representation in human memory, and further implementation of this model in the educational process. Ultimately, this should improve the efficiency of the educational process.

Based on the results of the literary review of the main textbooks on the discipline, which are most often referred to today in methodological and scientific works, the analysis of the representation of the system of existing basic concepts to describe the technology of steam generation in steam boilers at thermal power plants is offered. It is shown that as a basic model for the representation and formation of concepts, preference should be given to the model based on semantic features. This model provides the necessary conditions for developing the logic of reflection, broadening a scientific worldview about how processes and objects are related, and finding out about the laws of heat and mass transfer which determine this technology. Based on the results, a conceptual model of the formation of the concept "a once-through steam boiler of supercritical parameters" has been developed. The model contains many hierarchical features representing

the purpose, structure, composition, construction, principles, mechanisms of action and operation, parameters, characteristics and properties of the steam boiler.

In turn, for such a model, a training-oriented classification of concepts describing the model of the formation of the concept “a steam boiler” has been justified and developed. In the hierarchy of its features, the defining features that make it possible to effectively present this model are highlighted. Here, the defining feature is the one that the main characteristics of the steam boiler are highly sensitive to, which are parameters of the steam (working fluid) that it produces. The main advantage of using such a defining feature is that the student at the initial stage of studying the steam boiler, when forming a figurative model of it, refers to the previously studied and acquired concepts and physical laws.

**Keywords:** thermal power specialist, steam boiler, concept, representation, conceptual model, defining feature, purpose, composition, principles of action, parameters, classification, hierarchy, direction.

**Постановка проблеми.** Парові котли (ПК) за призначенням охоплюють широке коло спеціалізованих галузей, серед яких провідною є генерація теплової енергії саме на ТЕС і АЕС. У свою чергу, в енергетичній галузі як у всьому світі, так і в Україні, сьогодні відбуваються масштабні і корінні перетворення, які потребують великої кількості фахівців-теплоенергетиків відповідного рівня підготовки. Звідси стає необхідною адаптація методик підготовки таких фахівців до сучасних потреб і тенденцій розвитку галузі.

Традиційно вивчення технології виробництва пари в ПК в якості робочого тіла на ТЕС проводиться в курсі дисципліни «Паливо, топки і парові котли ТЕС і АЕС» (ПТ і ПК ТЕС і АЕС). Основу цього курсу складають аналіз і обґрунтування методів перетворення живильної води в пару заданих параметрів, яка призначена для використання в якості робочого тіла в парових турбінах блоків ТЕС і АЕС. Відповідно до курсу вивчаються теоретичні і технічні рішення щодо реалізації цих методів.

Незважаючи на відоме розмаїття методів і засобів виробництва пари в якості робочого тіла для ТЕС і АЕС, технологію цього виробництва можна позначити як складну систему, інтегруючим компонентом якої служить ПК. Власне, це саме ПК забезпечує життєдіяльність системи, здійснює взаємодію всіх її компонентів з урахуванням різноманітних завдань, які відображають природу і специфіку системи.

У свою чергу, сучасна вітчизняна технічна вища освіта характеризується різким зростанням обсягу навчальної інформації, що справедливо і для теплоенергетичних навчальних дисциплін. Збільшується їх різноманітність та інформаційне наповнення, але одночасно це супроводжується зменшенням термінів часу на їх вивчення. Ця

тенденція притаманна і Робочій програмі дисципліни ПТ і ПК на ТЕС і АЕС.

Сьогодні під терміном «паровий котел» об'єднані пристрої, які істотно відрізняються призначенням (пара потрібна в багатьох технологічних процесах в енергетиці, машинобудуванні, житлово-комунальній, транспортній і в інших галузях) [1].

Сучасний ПК – це складний тепломеханічний пристрій, в якому одночасно відбуваються процеси різної природи: реакції окислення палива; всі відомі види теплообміну і масопереносу в топці, газоходах, повітропроводах, трактах робочого тіла; видалення продуктів згоряння палива та екологічно небезпечних з'єднань. Тому ці процеси описуються рівняннями, характеристиками і параметрами, загальна кількість яких є досить значною. Звідси сучасна математична модель горіння палива в топці котла є нелінійною, неоднорідною, тривимірною і, в загальному вигляді, нестационарною, що вимагає чисельної апроксимації цієї моделі на ПЕОМ [2]. Тому можна стверджувати, що навіть спрощений для викладання опис енергетичного ПК вимагає великої кількості різноманітної інформації, яку суворо ранжировано за доступністю, повнотою і достовірністю, і використання її потребує попередньої професійної підготовки. Зауважимо, що всі ці обставини повною мірою об'єднуються з концептуальними та структурними властивостями інформаційного поля навчального матеріалу інженерних дисциплін вищої школи, згідно з [3]:

✓ численний перелік типів навчальних елементів (об'єкти, процеси, явища, характеристики, параметри тощо);

✓ глибока структурованість та ієрархічність навчальних елементів;

✓ велика кількість як узагальнених абстрактних понять, так і конкретних фізичних;

✓ численні інформаційні зв'язки з навчальними матеріалами фундаментальних, суміжних і спеціальних дисциплін;

✓ значна номенклатура типів логічних зв'язків між навчальними елементами;

✓ широке використання математичних методів і моделей для опису технічних об'єктів, процесів і явищ.

Виходячи з вищесказаного, вважаємо, що для розробки сутнісних систем ефективних технологій навчання спеціальним інженерним дисциплінам актуальною є задача формування та репрезентації науково обґрунтованої системи знань як предметної галузі відповідної дисципліни, так і психічним процесам, механізмам та явищам її сприйняття, засвоєння і інтелектуального розвитку людини. А для ефективного сприйняття навчального матеріалу визначальним є етап створення системи базових понять і відносин, властивих досліджуваній дисципліні, для чого необхідно формування адекватного та повного понятійного апарату.

**Аналіз сучасних тенденцій у публікаціях із досліджуваної проблеми.** Для подальшого розгляду проблеми та абстрагуючись від конкретної теплоенергетичної тематики, звернемося до тлумачення терміну «поняття» (за А.Конверським): «Поняття як форма (вид) думки, або як мислене утворення, є результат узагальнення предметів деякого класу і мисленого виділення саме цього класу за певною сукупністю загальних для предметів цього класу — і сукупністю розбіжних для них — ознак» [4]. На підставі цього тлумачення розглянемо, як задача формування понять у тій чи іншій формі вирішувалася авторами практичної більшості підручників із дисципліни ПТ і ПК на ТЕС і АЕС.

У підручниках Бойко Е. А., Двойнішнікова В. А., Естеркіна Р. І., Ковальова А. П., Ліпова Ю. М., Рассохіна Н. Г., Резнікова М. І., Роддатіса К. Ф., Сідельковського Л. Н., Стиріковича М. А. реалізовані ефективні методичні підходи до формування образів і понять, які необхідні для опису процесів у працюючому ПК і щодо його конструкційних рішень. У свою чергу, С.Г. Плачковою представлені історичні аспекти формування понять про ПК на прикладах промислового застосування водяної пари в парових машинах, де вперше виділяється ПК як окремий агрегат спеціально для генерації пари.

В якості базових тут використовують як характерні саме для ПК поняття (економайзер,

двосторонній освітлюваний тепловий екран, тепловий екран із шипами, рідке та тверде шлаковидалення, лютка, дзеркало води, холодна воронка, топки – камерна або циклонна, топка для спалювання в шарі, топка з перетиском поперечного перерізу, ширмовий та регенеративний пароперегрівачі, рециркуляція газів), так і основні поняття, притаманні базовим для галузі теплоенергетики інженерним дисциплінам: термодинаміка, гідрогазодинаміка, теплопередача, теплотехніка, матеріалознавство, органічна хімія.

Також в Україні ряд базових для опису ПК понять (типи ПК) встановлені згідно з ДОСТ 3619-89 «Котли парові стаціонарні. Типи основні параметри»[5], де також задані і типорозміри (чисельні значення ряду основних робочих параметрів), які відповідають установленим типам ПК.

У праці [3] автор стверджує, що перспективним напрямом вирішення проблеми формування та репрезентації досить складного змісту технічних дисциплін в умовах різкого збільшення інформаційних потоків є використання математичних методів і моделей, які повинні враховувати особливості когнітивних процесів засвоєння людиною інформації. Там же зроблено висновок, що існуючі моделі фіксують структуру вже сформованих понять і не відтворюють процес їх формування в технологіях навчання. Тому автор в якості раціональної основи для розробки моделей репрезентації та формування системи понять загальноінженерних дисциплін розглядає ряд можливих варіантів. У результаті він пропонує в якості базової для розробки моделі репрезентації понять інженерних дисциплін віддавати перевагу моделям на основі семантичних ознак.

Відзначимо, що стосовно такого важливого етапу визначення понять із дисципліни ПТ і ПК на ТЕС і АЕС як класифікація ПК, усі згадані в огляді автори пропонують кожен свій варіант, що говорить про відсутність загальноприйнятої ієрархії щодо презентації визначальних властивостей (понять і відповідних їм ознак) для опису ПК.

Тут термін «визначальна» позначає ступінь впливу даної властивості на основні рішення, що визначають теплову схему ПК, її технічну реалізацію і режимні характеристики роботи. Ця ступінь згідно з фізичною моделлю ПК визначається причинно-наслідковими зв'язками всіх технологічних процесів, які відбуваються в ньому.

На наш погляд, є логічним, що згідно з цим ступенем відповідні ознаки повинні посідати і відповідне місце в класифікації ПК – як за суттю, так і в ієрархії ознак. Місце такої ознаки в відповідній ієрархії визначається величиною чутливості фізичної моделі ПК до зміни цієї ознаки. Відповідно до моделі репрезентації ПК, ієрархія ознак повинна відповідати ієрархії чутливості, що наявна для його фізичної моделі.

Виходячи з цього, в ролі визначальної властивості в класифікаціях ПК, наведених вище авторів, ми розглянули такі ознаки: тиск [1, 8, 9, 12]; спосіб спалювання робочого тіла [1,8]; вид палива [6, 7]; організація тракту робочого тіла [1, 6, 8, 10]; організація тракту газу та повітря [6, 7]; конструкція топки [1, 7, 8, 13]. У [14] класифікацію приведено окремо для кожного з розділів відповідно їх змісту. Відзначимо, що в огляді розглядалися тільки ознаки, які стосуються тракту робочого тіла і газоповітряного тракту. Такий вибір обумовлений системноутворюючою роллю цих трактів для всього ПК.

З огляду цих класифікацій студент, що вперше вивчає дисципліну, може, нехай і неявно, на рівні інтуїції, зробити висновок, що порядок опису розглянутої ознаки в класифікації відповідає її місцю в ієрархії ознак. Тому, на наш погляд, відсутність загальноприйнятих ієрархії та структури класифікаційних ознак для ПК обмежує можливості створення універсальної класифікації, яка адекватна завданню ефективної репрезентації навчальної дисципліни.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка ефективної концептуальної моделі репрезентації знань при вивченні поняття «паровий котел» у ході підготовки майбутніх фахівців теплоенергетичного профілю. Для цього модель повинна бути адекватною технології генерації пари в ПК на ТЕС та найбільш повно враховувати механізми засвоєння та репрезентації знань у свідомості учнів. Для такої моделі потрібні обґрунтування і розробка класифікації понять щодо ПК, у ієрархії ознак якої виділяються визначальні ознаки, оптимізовані для найбільш ефективної репрезентації моделі цього ПК.

**Виклад основного матеріалу роботи.** У процесі професійної підготовки майбутніх фахівців-теплоенергетиків важливим етапом є формування понять і їх взаємовідносин у досліджуваній дисципліні. Власне кажучи, термін «поняття» розуміється неоднозначно,

але загальним для нього є те, що він позначається одночасно як форма мислення і як форма пізнання досліджуваного явища. Існуюча система понять щодо технології виробництва пари в ПК на ТЕС створює достатні передумови для формування концептуальної моделі поняття «паровий котел», яка містить велику кількість ієрархічних ознак, що наочно репрезентують об'єкт вивчення.

Саме наведене вище протиріччя між завданням курсу навчальної дисципліни і реальними обставинами щодо її вивчення обумовило завдання нашого дослідження. Це – теоретичне обґрунтування, практична розробка та впровадження в навчальний процес таких моделей для представлення знань про предметну галузь із теплоенергетики, які б адекватно враховували психічні процеси і механізми засвоєння та репрезентації знань у людини.

Тому завдання формування і засвоєння понять досліджуваної дисципліни є важливим і актуальним. Для сформульованої вище цільової функції системи понять у теплоенергетиці доцільно звернутися до роботи А. В. Усової, де розглянуто етапи формування наукових понять [15]. З них для нас найбільш значущими є такі етапи: збагачення понять (виявлення нових істотних ознак); повторне, повніше означення поняття; опора на дане поняття при засвоєнні нового.

У роботі [16] автори роблять висновок, що існуючі об'єктно-орієнтовані та спеціальні моделі знань відображають особливості представлення знань і рішення задач лише в окремих, відносно вузьких предметних галузях, тому їх використання для широкого загалу інженерних та технічних дисциплін проблематичне. Там же автори, аналізуючи проблему представлення знань, виділяють такі ключові вимоги до їх моделей:

- 1) загальність (універсальність);
- 2) «психологічність», наочність представлення знань;
- 3) однорідність;
- 4) реалізація в моделі здатності до активізації знань;
- 5) можливість відображення структурних відношень об'єктів предметної галузі;
- 6) наявність механізму проектування знань на систему семантичних шкал;
- 7) використання багаторівневих представлень (дані, моделі, метамоделі і т. д.).

Автори роботи [17] стверджують, що жодна з розглянутих у [16] моделей не задовільняє усім наведеним вимогам. Тому актуальною є розробка таких моделей представлення предметної галузі, що відповідають зазначеним вимогам. Для вирішення такого завдання в навчальному матеріалі технічних дисциплін для об'єктів, процесів та явищ можна виділити основні змістовні групи [3, 17], використання яких є способом, що відповідає інтелектуальним процесам запам'ятовування:

- 1) призначення та використання (R);
- 2) склад, влаштування, конструкція (S);
- 3) принципи і механізми дії та функціонування (D);
- 4) параметри та характеристики (H).

Використання в якості змістовних опорних пунктів назв змістовних груп дозволяє здійснювати узагальнення та ранжування навчальної інформації вже при першому знайомстві з нею. Це не потребує в подальшому перебудови структури інформації, що скорочує витрати часу

Як базову для розробки моделі репрезентації понять технічних дисциплін виберемо полізоморфну модель на основі семантичних ознак та семантичні мережі [3, 16]. Згідно з цією моделю поняття можна представити у вигляді [3]:

$$P = \{R, S, D, H\}, \quad (1)$$

де **P(ім'я)** – слово, або словосполучення, яке означає ім'я поняття;

**R (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>L</sub>)** – множина ієрархічних ознак, які репрезентують призначення та використання об'єкта (ознаки призначення);

**S (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>X</sub>)** – множина ієрархічних ознак, які репрезентують структуру, склад, будову або конструкцію об'єкта (ознаки складу);

**D (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, ..., D<sub>V</sub>)** – множина ієрархічних ознак, які репрезентують принципи і механізми дії та функціонування об'єкта (ознаки принципу дії);

**H (H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, ..., H<sub>N</sub>)** – множина ієрархічних ознак, які репрезентують параметри, характеристики та властивості об'єкта (ознаки параметрів).

**Система понять, необхідна для опису технології генерації пари в парових котлах.** Проведемо аналіз змісту технології виробництва пара в ПК і встановимо систему понять, що описують цю технологію з використанням моделі відповідно до виразу (1).

Технологія виробництва пари на ТЕС є підрозділом науки, яка вивчає процеси в ПК, що призводять до зміни складу, властивостей і агрегатного стану вхідних (паливо, живильна вода) і вихідних (робоче тіло, незгорілі залишки палива, продукти окислення палива) речовин.

#### **Встановимо ознаки призначення і застосування для ПК R (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>i</sub>).**

– За ознакою призначення: ПК здійснюють перетворення однієї речовини (вода) в іншу (пара), які відрізняються один від одного за будовою (фазовим складом) і тепловою енергією (тепломісткістю);

– За ознакою застосування: ПК енергетичні (пар використовується для отримання теплової енергії на ТЕС); ПК промислові (пар використовується в різних технологічних процесах); ПК водогрійні (гаряча вода забезпечує теплою системи опалення та гарячого водопостачання в ЖКГ).

#### **Встановимо основні ознаки, які представляють структуру, склад, будову або конструкції ПК S (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>K</sub>).**

– За ознакою компоновки: П і Г-подібна; Т-подібна, N-образна триходова компоновка; баштова компоновка; I-образна компоновка (інвертна).

– За ознакою влаштування водопарового тракту: випарну поверхню виконано розімкнутою – прямоточний котел; випарну поверхню виконано замкнутою на барабан з утворенням контуру циркуляції – циркуляційний (барабанний) котел.

– За ознакою влаштування контуру циркуляції барабанного котла: наявність циркуляційного насоса (примусова циркуляція); відсутність циркуляційного насоса (природна циркуляція).

– За ознакою наявності регенеративного (проміжного) перегріву пари: перегрівом пари; без проміжного перегріву пари.

– За ознакою виду палива, що спалюється в паровому котлі: газове паливо; тверде паливо; рідке паливо; рідке та газове паливо; тверде, рідке та газове паливо.

– За ознакою влаштування топки котла: однокамерна призматична («відкрита») топка; однокамерна з перетиском перерізу («напівзакрита топка»); двокамерна («закрита») топка).

– За ознакою здійснення концентрації тепла в нижній частині топки котла: з запальним поясом; з перетиском перерізу топки; з наближенням ядра факела до поду топки.

– За ознакою влаштування пристроїв для організації шлаковидалення: «холодна» воронка (тверде шлаковидалення); летка (рідке шлаковидалення).

– За ознакою влаштування пальникових пристроїв: вихрові пальники; прямооточні пальники.

– За ознакою розташування пальників у топках: фронтальне; кутове; зустрічне; стельове; тангенціальне.

**Встановимо основні ознаки, які представляють принципи і механізми дії і функціонування ПК і його елементів D (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>,... D<sub>v</sub>).**

– За джерелом теплової енергії для генерації пари: хімічна енергія органічного палива (ТЕС); енергія поділу ядерного палива (АЕС).

– За способом спалювання палива: в факелі; в циклоні; в шарі.

– За фазовим станом виробленого робочого тіла: пара насичена (АЕС); пара перегріта (ТЕС); вода гаряча (опалювальні та технологічні котли);

– За способом створення горючої суміші палива з повітрям: за рахунок турбулізації компонентів вихровими пальниками; за рахунок турбулізації компонентів при примусовому зіткненні струменів цих компонентів.

– За способом видалення шлаку з топки (для твердого палива): тверде шлаковидалення за рахунок пристрою «холодна воронка» в нижній частині топки; рідке шлаковидалення за рахунок збереження тепла в нижній частині топки.

– За способом нагріву живильної води в економайзері: нагрів без випаровування води («не киплячий» економайзер); нагрів з частковим випаровуванням води («киплячий» економайзер).

– За принципом роботи випарника у водопаровому тракту: прямооточна схема; схема з циркуляцією.

– За принципом роботи газоповітряного тракту: топка котла з врівноваженою тягою; топка котла з розрідженням; топка котла з наддувом.

– За принципом роботи повітропідігрівача: рекуперативний; регенеративний.

**Встановимо основні ознаки, які представляють параметри, характеристики і властивості об'єкта (ознаки параметрів) ПК Н (Н<sub>1</sub>, Н<sub>2</sub>,... Н<sub>v</sub>).**

– За номінальним тиском пари основного перегріву: мале; середнє; високе; надкритичне.

– За номінальною температурою пари основного перегріву: наведені в таблиці 1.

– За номінальною температурою пари проміжного перегріву: наведені в таблиці 1.

– За номінальною температурою живильної води: наведені в таблиці 1.

– За номінальною продуктивністю пари основного перегріву: наведені в таблиці 1.

Щодо наведених ознак параметрів Н для ПК, то в Україні діє ДОСТ 3619-89 [5], в якому регламентовані тиск і температура пари основного перегріву і пари проміжного перегріву, продуктивність пари і температура живильної води (таблиця 1). Також в цьому ДОСТу прийняті такі позначення типів ПК: П – котел прямооточний; Е – котел з природною циркуляцією; Пр – котел із примусовою циркуляцією; Пп – прямооточний котел з вторинним перегрівом пари; Еп – котел із природною циркуляцією і вторинним перегрівом пари.

Таблиця 1

Номінальні значення основних параметрів ПК (ДОСТ 3619-89)

Класифікація за типом і тиску котла		Номінальне виробництво пари Dном, т / год	Абсолютний тиск основної пари, МПа	Температура основної пари, °С	Температура пари після промперегрева, °С	Температура живильної води, °С
Е	мале	16	не более 1,0	200...300	-	90...120
Е	середнє	100	1,0...10,0 (3,9)	330...440	-	130...145
Еп	високе	420...670	10,0...18,0 (17,0)	510...545, 320	545	230
Пп	високе	500	10,0...18,0	500...540,	540	240
Пп	понад критичне	1600...3200	24,0 та більше(25,0)	510...545	542	250...270

У свою чергу, позначення типорозмірів ПК в цьому ДОСТу прийняті такими: перше число- продуктивність пари, т/год; друге число- тиск пари, кгс/см<sup>2</sup>. Позначення типорозмірів відносяться до ПК з топками для спалювання твердого палива при видаленні з них шлаку в твердому стані. При спалюванні інших видів палива вводяться додаткові позначення: Г – газове паливо; М – мазут, ГМ – газ і мазут; Ж –

рідке шлаковидалення. Далі ці ознаки будуть використовуватися при побудові та аналізі інформаційної моделі ПК типу ТПП-210 А, який використовують в блоках потужних ТЕС.

**Структура і зміст системи ознак в описі ПК типу ТПП-210 А.** Схематичне уявлення основних ієрархічних ознак призначення і застосування – R (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ...R<sub>i</sub>) для поняття ПК типу ТПП-210А, наведено на рис. 1.



Рис. 1 – Ознаки призначення і використання для поняття ПК типу ТПП-210А

Схематичне уявлення основних ієрархічних ознак будови і складу об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А- S (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ...S<sub>v</sub>), наведено на рис. 2.

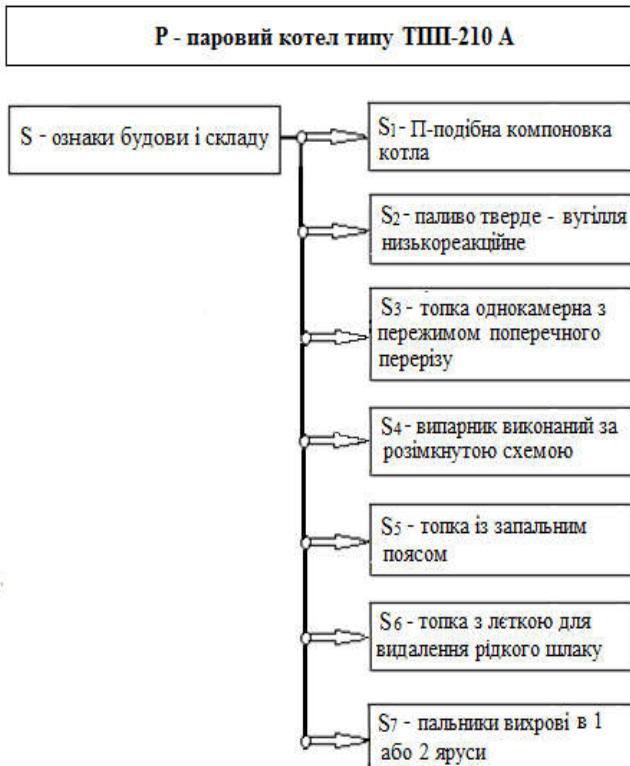


Рис.2 – Основні ознаки будови і складу об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А

Схематичне уявлення основних ієрархічних ознак, які представляють принципи і механізми дії і функціонування об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А-D (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, ... D<sub>v</sub>), наведено на рис.3.

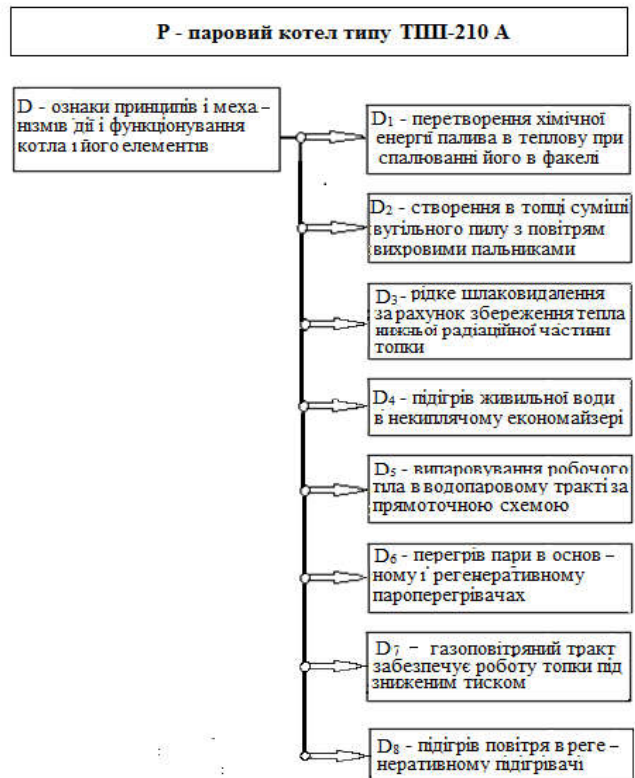


Рис.3 – Основні ознаки, які представляють принципи і механізми дії і функціонування об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А.



Схематичне представлення основних ієрархічних ознак параметрів, характеристик

та властивостей об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А – Н (Н<sub>1</sub>, Н<sub>2</sub>,...Н<sub>v</sub>), наведено на рис. 4.

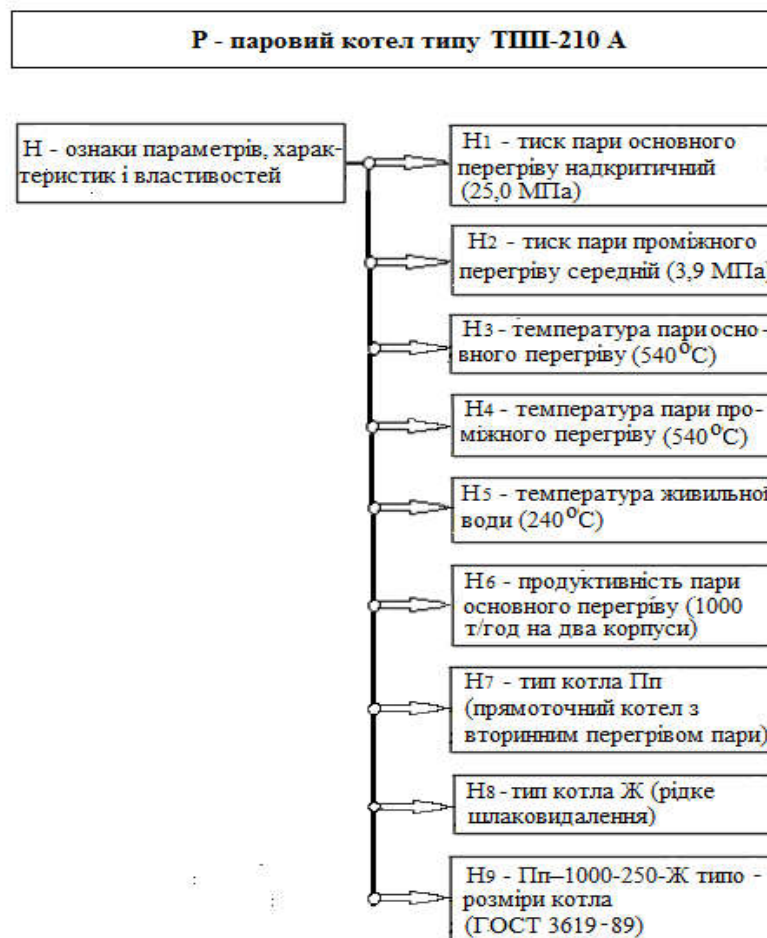


Рис.4 – Основні ознаки, які представляють ієрархічні ознаки параметрів, характеристик і властивостей об'єкта для поняття ПК типу ТПП-210А

Таким чином, сформульовано систему понять щодо технології виробництва пари в ПК на ТЕС. Ця система базується на назвах змістовних груп, що дозволяє здійснювати узагальнення та ранжування навчальної інформації вже при першому знайомстві з нею. При подальшому вивченні ця система не потребує перебудови структури інформації, що скорочує витрати часу. Також на основі сформульованої системи понять може бути створена поліізоморфна модель презентації об'єкта вивчення – «ПК».

**Класифікація парових котлів як навчально-методичний прийом при вивченні дисципліни ПТ і ПК на ТЕС і АЕС.** Згідно з Робочою програмою дисципліни, тема «Характеристики, позначення та класифікація ПК» вивчається відразу після тем: «ПК та його місце в технологічній схемі виробництва пари на ТЕС» і «Робота і основні елементи

конструкції ПК». У результаті студент отримує деяку загальну базову інформацію про технологічні процеси виробництва водяної пари в якості робочого тіла турбіни на ТЕС і ролі ПК в цьому процесі. На їх основі студент починає формувати базову систему образів та знань, необхідних для подальшого вивчення дисципліни. Зауважимо, що з багатьма з них студент знайомитися вперше. І доречним тут є висновок, що саме в силу складності і різноманіття цієї системи, вже на цьому етапі навчання доцільно задати для неї досить повну і наглядну класифікацію ПК. Це допоможе формуванню понятійного апарату, адекватного створенню цілісного та наглядного образу для вивчення ПК.

До речі, ця задача вирішувалася авторами підручників, які розглянуто в огляді. У більшості цих робіт класифікації ПК упроваджують вже на ранньому етапі процесу

навчання з використанням понять, зміст і відносини яких щодо ПК студенту ще належить вивчити, тому класифікація на цьому етапі використовується в значній мірі формально, і освітня функція її менш ефективна. Можна стверджувати, що розглянуті в огляді варіанти класифікації ПК ефективні переважно для аналізу або синтезу ПК у виконанні вже сформованим спеціалістом-теплоенергетиком, аніж студентом, який прослухав дві або три лекції з дисципліни, що вивчається.

Виходом з такої ситуації, на наш погляд, є класифікація з використанням суттєвої для ПК ієрархії понять. Місце в такій ієрархії доцільно ставити в залежності від ступеня впливу кожного з понять на основний результат роботи ПК, відповідність характеристик робочого тіла (пари основного перегріву) значенням за нормативними документами. А нормативним документом для такої ієрархії є ДОСТ 3619-89, в якому регламентовані тиск і температура пари основного перегріву. Ці величини є визначальними вже в силу того, що єдиним завданням ПК на ТЕС є генерація робочого тіла заданих характеристик для парової турбіни, а всі інші технічні рішення і характеристики ПК підпорядковані цьому завданню.

Відзначимо, що практично всі потужні енергетичні ПК на ТЕС, незалежно від їх теплових схем, палива та інших характеристик, повинні забезпечити температуру робочого тіла в межах 510...545 °С. Але пару в зазначеному діапазоні температури можуть виробляти ПК, які істотно відрізняються принциповими схемами, конструкційними рішеннями і режимами роботи. Отже, температуру робочого тіла в нашому випадку не доцільно розглядати як головну класифікуючу ознаку.

У свою чергу, тиск робочого тіла при генерації пари в ПК змінюється в межах від 13,5 МПа до 30 МПа. Величина цього тиску в кожному ПК є визначальною ознакою для всіх інших його характеристик, які тут виступають (із фізичних міркувань), як залежні величини. Так, із підвищенням тиску відмінність між густиною киплячої води і насиченої пари, яку утворено, зменшується і різниця цих густин при 22,65 МПа (при 374,15 °С) стає рівною нулю. Цей стан називають критичним, а відповідні температуру і тиск – критичними. Процеси генерації пари з надкритичними параметрами відбуваються з істотно несхожими закономірностями, що вимагає адекватних конструкційних і режимних рішень. Також треба відмітити, що підвищення температури і тиску пари на вході в турбіну вище критичної істотно підвищує термічний ККД циклу паротурбінного блоку ТЕС, що відповідає сучасним тенденціям у світовій енергетиці [18].

**Характеристики основної пари, способи її умови її циркуляції в поверхнях теплообміну ПК.** У процесі генерації парив ПК ентальпія робочого тіла мінюється від ентальпії живильної води на вході економайзера до ентальпії перегрітої пари на виході перегрівника пара. В свою чергу, теплосприйняття поверхонь теплообміну в топці ПК прямо пропорційні їх площам.

На рис. 5 показано зміну ентальпії  $\Delta i$  робочого тіла ПК відповідно – в поверхнях підігріву живильної води (економайзері)- $\Delta i_{під}$ , випарних поверхнях (випарнику)- $\Gamma$  і в поверхнях пароперегріву –  $\Delta i_{пе}$  в залежності від тиску  $p$  і температури  $t_{жв}$  живильної води до області надкритичного тиску одержуваної пари.

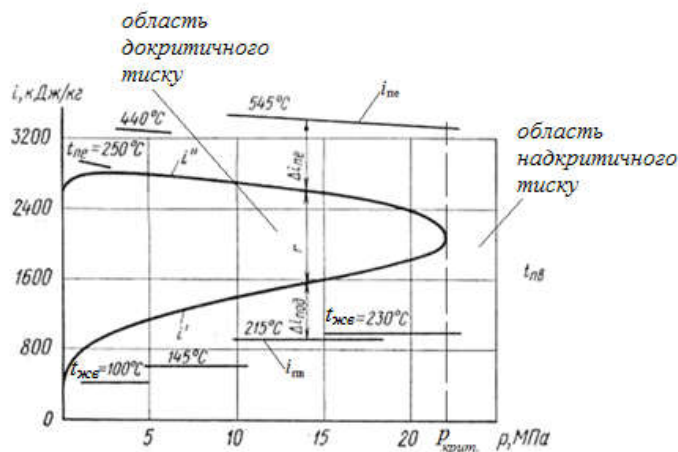


Рис. 5 - Зміна ентальпії  $\Delta i$  робочого тіла в поверхнях теплообміну ПК в залежності від тиску  $p$  робочого тіла.

Згідно з рис. 5, з ростом тиску  $p$  зменшується питома теплота пароутворення  $r$  і зростають збільшення ентальпії  $\Delta i_{\text{під}}$  і  $\Delta i_{\text{пе}}$ . Так як за надкритичного тиску пари тепло та паротворення  $r = 0$ , то процес випаровування не потребує підведення тепла, отже, відповідна площа поверхні випарника дорівнює нулю. У

свою чергу, площі поверхонь підігріву води і перегріву пари з ростом тиску збільшуються. Відповідні (відносні) частки теплосприйняття для поверхонь підігріву живильної води, випаровування і перегріву пари в залежності від тиску робочого тіла наведені в таблиці 2 [19].

Таблиця 2

Зміна відносних часток теплосприйняття  $\Delta i_{\text{під}}$ ,  $r$ ,  $\Delta i_{\text{пе}}$  в топці ПК у залежності від тиску робочого тіла

Абсолютний тиск перегрітої пари $p$ , МПа	низьке 1,0 – 2,4	середнє 3,9	високе 9,8	надвисоке 13,8
$\delta_{\text{под}} = \Delta i_{\text{под}} / (i_{\text{не}} - i_{\text{нід}})$	0,163 – 0,213	0,174	0,187	0,228
$\delta_r = r / (i_{\text{не}} - i_{\text{нід}})$	0,901 – 0,799	0,637	0,52	0,434
$\delta_{\text{пе}} = \delta / (i_{\text{не}} - i_{\text{нід}})$	0,035	0,189	0,293	0,238

Таким чином, теплова схема, параметри і конструкція поверхонь нагріву ПК в першу чергу залежать від тиску робочого тіла, який ми і приймаємо в якості основної класифікаційної ознаки в системі понять, що описують конструкцію і роботу енергетичного ПК. Відповідна класифікація ПК дозволяє підвищити ефективність формування у студента базових понять і уявлень, що описують технологію генерації пари в ПК.

**Навчальна класифікація парових котлів.** На рис. 6 наведено схему запропонованої класифікації типового енергетичного ПК для ТЕС. Першою (але не визначальною) ознакою в ній виступає застосування котла, яке є інваріантною характеристикою для всіх енергетичних ПК. Наступною ознакою обрано тиск пари основного перегріву, який в цій класифікації визначає типи ПК з докритичним або надкритичним тиском пари основного перегріву

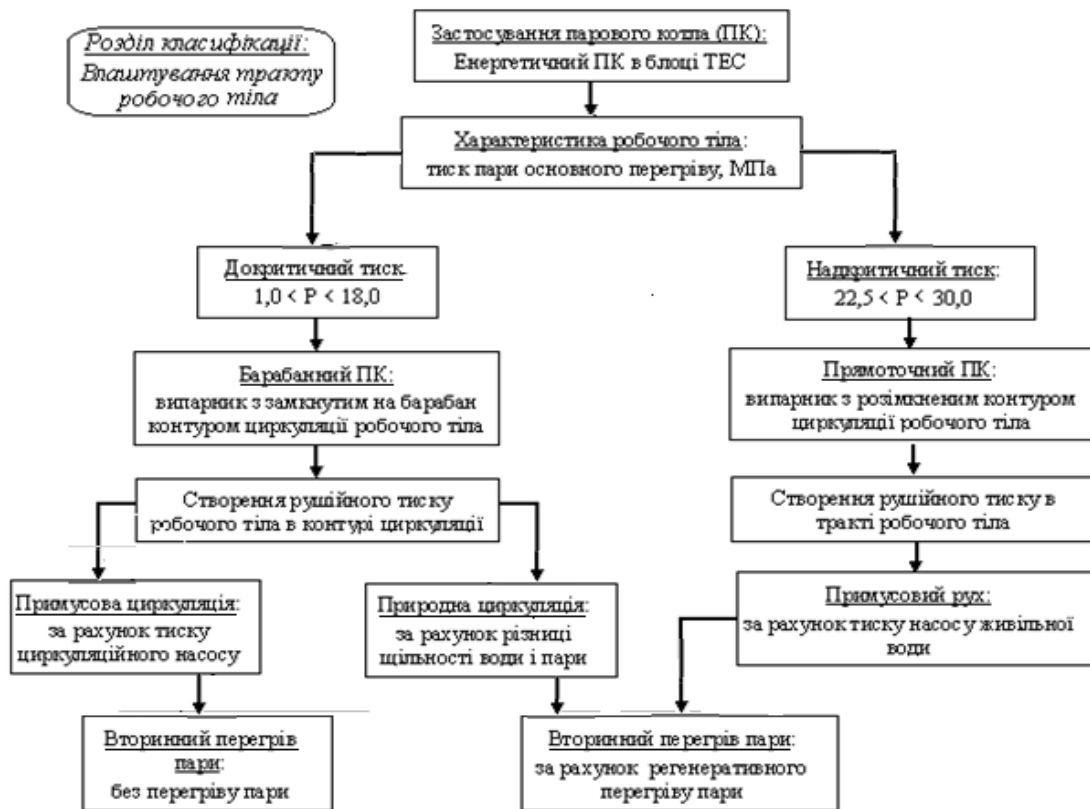


Рис. 6 – Схема класифікації типового енергетичного ПК для ТЕС (розділ «Влаштування тракту робочого тіла»)

Ці ПК мають суттєві відмінності в принципах роботи і технічних рішеннях, що визначає такі ознаки: прямоточні котли і котли циркуляційні, відповідно, – із замкнутою або розімкненою схемами руху робочого тіла у випарнику. Далі в класифікації наведено несуперечливу низку ознак, що описують інші поняття щодо генерації пари в ПК.

Таким чином, наведена класифікація допомагає студентів у формуванні адекватного, комплексного і наочного образу досліджуваного ПК, спираючись на вже відомі йому фізичні поняття (властивості води і водяної пари).

#### Список використаних джерел

1. Бойко Е. А. Котельные установки и парогенераторы : учеб. пособие / Е. А. Бойко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 292 с.
2. Опыт применения программы трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов энергоблоков мощностью 350 и 575 МВт / Э. С. Карасина [и др.] // Теплоэнергетика. – 2010. – № 10. – С. 74-76.
3. Лазарев М. І. Полісистемне моделювання змісту технологій навчання загально інженерних дисциплін : монографія / М. І. Лазарев. – Харків : Вид-во НФаУ, 2003. – 356с.
4. Сластенко Є. Ф. Логіка : навч. посібник / Є. Ф. Сластенко, С. М. Ягодзинський. – Київ : НАУ, 2005. – 192 с.
5. Котлы паровые стационарные. Типы и основные параметры. ГОСТ 3619-89. Издание официальное / Издательство стандартов. – М. : 1995. -12 с
6. Липов Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.
7. Сидельковский Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – 3-е изд. – М. : Энергоиздат, 1988. – 528 с.
8. Эстеркин Р. И. Промышленные котельные установки: учебник для техникумов / Р. И. Эстеркин. – 2-е изд. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отдел., 1985. – 400 с.
9. Ковалев А. П. Парогенераторы / А. П. Ковалев, Н. С. Лелеев, Т. В. Виленский. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 374 с.
10. Двойнишников В. А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок : учебник для техникумов для специальности «Котлостроение» / В. А. Двойнишников, Л. В. Деев, В. А. Изюмов. – М. : Машиностроение, 1988. – 264 с.
11. Деев Л. В. Котельные установки и их обслуживание : практическое пособие для ПТУ / Л.

**Висновки з проведеної роботи.** Виконано аналіз і сформульовані основні положення концептуальної моделі поняття "паровий котел". Модель базується на множині ієрархічних ознак щодо технології генерації пари в ПК на ТЕС. Ці ознаки репрезентують призначення, структуру, конструкцію, принципи і механізми дії, параметри, характеристики та властивості, притаманні як ПК в цілому, так і окремим його елементам. Також представлено класифікацію ПК, що використовує зазначені ознаки і орієнтована на підвищення ефективності навчального процесу за рахунок ранжирування і створення ієрархії визначальних ознак.

- В. Деев, В. А. Балахничев. – М. : Высшая школа, 1990. – 239 с.
12. Резников М. И. Паровые котлы электростанций : учебник для вузов / М. И. Резников, Ю. М. Липов. – М. : Энергоиздат, 1984. – 240 с.
13. Роддатис К. Ф. Котельные установки : учебное пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов / К. Ф. Роддатис. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.
14. Стырикович М. А. Парогенераторы электростанций / М. А. Стырикович, И. Я. Катковская, Е. П. Серов. – М. ; Л. : Энергия, 1966. – 384с.
15. Усова А. В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения / А. В. Усова. – М. : Педагогика, 1986. – 167с.
16. Башмаков А. И. Интеллектуальные информационные технологии : учеб. пособие / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
17. Герніченко І. І. Рекурсивна модель змісту навчального матеріалу як засіб удосконалення професійної підготовки фахівця / І. І. Герніченко // Проблеми інженерно-педагогічної освіти : зб. наук. пр. – Харків : УППА, 2006. – Вип. 24-25. – С. 24-25.
18. Стерман Л. С. Тепловые и атомные электрические станции : учебник для вузов. / Л. С. Стерман, Л. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. – 3-е изд. – М. : МЭИ, 2004. – 424 с.
19. Тепловые схемы котлов / А. А. Паршин, В. В. Митор, А. Н. Безгрешнов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.

#### References

1. Bojko, EA 2005, *Kotelnye ustanovki i parogeneratory*, [Boiler plants and steam generators] Izdatel'sko-poligraficheskij centr Krasnojarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, Krasnojarsk.
2. Karasina, JeS et al. 2010, 'Opyt primenenija programmy trehmernogo zonalnogo metoda rascheta teploobmena v topocnyh kamerah pyleugolnyh kotlov

jenergoblokov moshnostju 350 i 575 MVt'[The experience of using the program of the three-dimensional zonal method for calculating heat transfer in the combustion chambers of pulverized coal boilers of power units with a capacity of 350 and 575 MW], *Teplojenergetika*, no. 10, pp. 74-76.

3. Lazarijev, MI 2003, *Polisystemne modeluvannia zmistu tekhnologii navchannia zahalno inzhenernykh dysyplin*, [Polysystemic modeling of the content of teaching technologies of general engineering disciplines: monograph] Vydavnytstvo Natsionalnoho farmatsevtichnoho universytetu, Kharkiv.

4. Slastenko, YeF & Yahodzynskiy, SM 2005, *Lohika*, [Logic] Natsionalnyi aviatsiyni universytet, Kyiv.

5. *Kotly parovye stacionarnye. Typy i osnovnye parametry. GOST 3619-89.* [Stationary steam boilers. Types and basic parameters. GOST 3619-89] *Izдание oficialnoe* 1995, Izdatelstvo standartov, Moskva.

6. Lipov, JuM & Tretjakov, JuM 2003, *Kotelnye ustanovki i parogeneratory*, [Boiler plants and steam generators] Nauchno-issledovatel'skij centr Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika, Moskva, Izhevsk.

7. Sidelkovskij, LN & Jurenev, VN 1988, *Kotelnye ustanovki promyshlennykh predpriyatij*, [Boiler plants of industrial enterprises] 3rd edn, Jenergoizdat, Moskva.

8. Jesterkin, RI 1985, *Promyshlennye kotelnye ustanovki*, [Industrial boiler plants] 2nd edn, Jenergoatomizdat. Leningradskoe otdelenie, Leningrad.

9. Kovalev, AP, Leleev, NS & Vilenskij, TV 1981, *Parogeneratory*, [Steam generators] Jenergoatomizdat, Moskva.

10. Dvojnishnikov, VA, Deev, LV & Izjumov, VA 1988, *Konstrukcija i raschet kotlov i kotelnykh ustanovok*, [Design and calculation of boilers and boiler plants] Mashinostroenie, Moskva.

11. Deev, LV & Balahnichev, VA 1990, *Kotelnye ustanovki i ih obsluzhivanie*, [Boiler systems and their maintenance] Vysshaja shkola, Moskva.

12. Reznikov, MI & Lipov, JuM 1984, *Parovye kotly jelektrostantsij*, [Power Station Steam Boilers] Jenergoizdat, Moskva.

13. Roddatis, KF 1977, *Kotelnye ustanovki*, [Boiler plants] Jenergija, Moskva.

14. Styrikovich, MA, Katkovskaja, IJa & Serov, EP 1966, *Parogeneratory jelektrostantsij*, [Power plant steam generators] Jenergija, Moskva, Leningrad.

15. Usova, AV 1986, *Formirovanie u shkolnikov nauchnykh ponjatij v processe obuchenija*, [The formation of scientific concepts in students in the learning process] Pedagogika, Moskva.

16. Bashmakov, AI & Bashmakov. IA 2005, *Intellektualnye informacionnye tehnologii*, [Intelligent Information Technology] Izdatelstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta imeni N. Je. Baumana, Moskva

17. Hernichenko, II 2006, 'Rekursyvnna model zmistu navchalnoho materialu yak zasib udoskonalennia profesiinoi pidhotovky fakhivtsia', *Problemy inzhenerno-pedahohichnoi osvity*, [Recursive content model of educational material as a means of improving the professional training of a specialist] Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, iss. 24-25, pp. 24-25.

18. Sterman, LS, Lavygin, LM & Tishin, SG 2004, *Teplovyje i atomnye jelektricheskie stancii*, [Thermal and nuclear power plants] 3rd edn, Moskovskij jenergeticheskij institut, Moskva.

19. Parshin, AA, Mitor, VV, Bezgreshnov, AN et al. 1987, *Teplovyje shemy kotlov*, [Thermal schemes of boilers] Mashinostroenie, Moskva.

*Стаття надійшла до редакції 05.08.2019 р.*