ISSN 2312-2676

ПДАБА
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ВІСНИК

ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

BULLETIN

OF PRYDNIPROVS'KA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

№ 1 СІЧЕНЬ 2015 РОКУ

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 519.21

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

БОЛЬШАКОВ В. И.[1], *д. т. н., проф.*
ДУБРОВ Ю. И.[2], *д.т.н., проф.*
[1] Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473
[2*]Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Аннотация. Объекты, для которых выбор критерия однозначно диктуется их целевой направленностью, встречаются сравнительно редко, поскольку, например, попытки формализовать эффективность какого-либо действия СС, как правило, выливаются в составление списка требований, состоящих из набора частных показателей эффективности (частных критериев). Задачи, постановка которых не может быть отражена в достижении какого-либо одного критерия, называют многокритериальными [4].

Типичной задачей является задача оценки качества функционирования СС, которая проявляется в ее многокритериальности. В реальных задачах такого критерия, который бы удовлетворял всем требованиям, предъявляемым к СС, не существует. На практике подобные задачи пытаются решать путем «свертки» множества частных критериев в единый критерий, для чего применяют искусственный прием, в результате которого составляют из нескольких показателей (частных критериев) единый [2].

Основываясь на логике создания СС, приходим к выводу, что основной оценкой функционирования СС является её **выживаемость** [5]. Основываясь на принятом в медицине понятии **выживаемости** как способности организмов сохраняться в условиях воздействия неблагоприятных факторов, применим эту дефиницию с учётом того, что СС, созидаемая человеком, как правило, включает механизм, который она же и создаёт, так и организм, управляющий этим механизмом.

Если для организмов выживаемость – это средняя для популяции вероятность сохранения особей каждого поколения за определённый промежуток времени [5], то для механизма, например, для летательного аппарата, это свойство характеризует успешность выполнения боевых операций в условиях противодействия противника. В этой связи для антропоморфных СС исследователи вынуждены моделировать процессы, заключающиеся во взаимодействии механизмов и организмов. Однако следует учитывать, что для СС, представляющих только живые организмы, анализ **выживаемости** моделируется процессами наступления терминальных (критических) событий для элементов какой-либо совокупности.

Применение данного подхода в производственных условиях позволяет проводить прогноз химического состава изделия и его механических свойств с минимальными материально-временными затратами.

Ключевые слова: *антропоморфная система, качественные критерии, сложная система, чугунные валки, область компромисса.*

ПРО СТІЙКІСТЬ ЛЮДИНО-МАШИННИХ СИСТЕМ

БОЛЬШАКОВ В. І.[1], *д. т. н., проф.*
ДУБРОВ Ю. І.[2*], *д. т. н., проф.*
[1] Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473
[2*]Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Анотація. Об'єкти, для яких вибір критерію однозначно диктується їх цільовим призначенням, трапляються досить рідко, оскільки, наприклад, спроби формалізувати ефективність будь-якої дії СС, як правило, виливаються в складання списку вимог, що включають набір окремих показників ефективності (критеріїв). Завдання, постановка яких не може бути відображена в досягненні якогось одного критерію, називають багатокритеріальними [4].

Типовим завданням є оцінювання якості функціонування СС, яка проявляється в її багатокритеріальності. У реальних задачах такого критерію, який би задовольняв усім вимогам, що пред'являються до СС, не існує. На практиці подібні задачі намагаються шляхом «згортання» безлічі окремих критеріїв у єдиний критерій, для чого застосовують штучний прийом, у результаті якого складають із декількох показників (окремих критеріїв) єдиний [2].

Дотримуючись логіки створення СС, доходимо висновку, що основною оцінкою функціонування СС є **«виживання»** [5]. Застосовуючи прийняте в медицині поняття «виживання» – здатність організмів зберігатися в умовах впливу несприятливих факторів, застосуємо цю дефініцію з урахуванням того, що СС, створена людиною, як правило, включає механізм, який вона ж і створює, так і організм, що керує цим механізмом.

Якщо для організмів виживання – це середня для популяції ймовірність збереження особин кожного покоління за певний проміжок часу [5], то для механізму, наприклад, для літального апарату, ця властивість характеризує успішність виконання бойових операцій в умовах протидії супротивнику. У цьому зв'язку, для антропоморфних СС дослідники змушені моделювати процеси, які полягають у взаємодії механізмів та організмів. Проте слід ураховувати, які для СС, що представляють лише живі організми, аналіз **виживання** моделюється процесами настання термінальних (критичних) подій для елементів будь-якої сукупності.

Застосування даного підходу у виробничих умовах дозволяє проводити прогноз хімічного складу виробу і його механічних властивостей виробу з мінімальними матеріально-часовими витратами.

Ключові слова: *антропоморфна система, якісні критерії, складна система, чавунні валки, область компромісу.*

THE STABILITY OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS

BOLSHAKOV V. I.[1], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
DUBROV U. I.[2*], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
[1] Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473
[2*] Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Summary. The objects for which the criterion selection clearly is dictated by their target areas are relatively rare because, the attempts to formalize the effectiveness of any action of the SS for example, are drown up in a list of requirements, as a rule, consisting of a set of private performance indicators (partial criteria). Problem which formulation can not be reflected in the achievement of any one criterion, are called multicriteria [4].

A typical problem is the problem of the quality assessing of the functioning of the SS, showing its multicriteriality. There is no such criterion in the real problem, solving all of requirements presented to SS. In practice such problems try to solve by the "folding" of many private criterion to single criterion, which used artifice, as a result some indicators are composed the single.

Based on the logic of the creation of the SS, we conclude that the main assessment of the operation, of the SS is its survival [5]. Based on medically accepted notion of survival, as the ability of organisms to survive under the impact of adverse factors this definition apply in view of the fact that the SS, creating of man, includes a mechanism as a rule which is created by its and the organism this mechanism controlling.

If fir organism survival is the average of the population probability of individual of every generation for define of time interval, but for mechanism for a lethal apparatus in the condition opponent opposition. So researchers should model the process for anthropomorphic SS, consisting on organism mechanism interaction. However it should be known that for SS, survival analysis is modeled by process of getting terminal evident for elements of any totality, representing living organisms only.

Use of present approach, allow to do chemical condition prognosis of wares and its mechanical properties of wares with a minimum of material and time-consuming in production condition.

Keywords: *anthropomorphic system, qualitative criteria, complex system, cast iron rolls, area of compromise.*

Существуют объекты, качество функционирования которых каким-либо единым показателем охарактеризовать невозможно. Так, например, качество производимого металла может характеризоваться его прочностью, вязкостью, упругостью, блеском и т. д. Причём эти показатели зачастую могут противоречить друг другу, в том смысле, что, улучшая один показатель, мы ухудшаем другой, – например: прочность-пластичность, вязкость хрупкость и др. Для аналогичных систем дефиниция критерий[1] является определяющей. Согласно этому критерию, системы подразделяются на простые системы и сложные системы (СС)[2]. Качество функционирования систем вообще, а СС в частности, характеризуется и оценивается качественными и количественными критериями [2; 3]. Качественные критерии – это такие, которые могут иметь только два значения, например: в случае успеха – 1 и 0 – в противоположном случае. Примером применения такого критерия может быть оценка жестокой дуэли типа «русской рулетки». В этой дуэли в качестве основного условия принимается обязательная гибель одного из дуэлянтов. Количественно определяемые критерии это такие, которые описывают результаты действий СС, характеризующиеся изменением значения отдельного показателя, назначаемого в качестве критерия. Например, этой величиной может быть время, за которое атлет пробегает заданную дистанцию. Кажущаяся простота качественного критерия обманчива, поскольку функциональная зависимость его от неконтролируемых и случайных факторов может быть весьма сложной.

Объекты, для которых выбор критерия однозначно диктуется их целевой направленностью, встречаются сравнительно редко, поскольку, например, попытки формализовать эффективность какого-либо действия СС, как правило, выливаются в составление списка требований, состоящих из набора частных показателей эффективности (частных критериев). Задачи, постановка которых не может быть отражена в достижении какого-либо одного критерия, называют многокритериальными [4].

Типичной задачей является задача оценки качества функционирования СС, которая проявляется в ее многокритериальности. В реальных задачах такого критерия, который бы удовлетворял всем требованиям, предъявляемым к СС, не существует. На практике подобные задачи пытаются решать путем «свертки» множества частных критериев в единый критерий, для чего применяют искусственный прием, в результате которого составляют из нескольких показателей (частных критериев) единый [2].

Основываясь на логике создания СС, приходим к выводу, что основной оценкой функционирования СС является её **выживаемость**[3] [5]. Основываясь на принятом в медицине понятии **выживаемости** как способности организмов сохраняться в условиях воздействия неблагоприятных факторов, применим эту дефиницию с учётом того, что СС, созидаемая человеком, как правило, включает механизм, который она же и создаёт, так и организм, управляющий[4] этим механизмом.

Если для организмов выживаемость – это средняя для популяции вероятность сохранения особей каждого поколения за определённый промежуток времени [5], то для механизма, например, для летательного

[1] Греческое *kriterion* обозначает признак, на основании которого производится оценка чего-либо.

[2] Под сложной системой мы понимаем систему с относительно большим числом переменных, сильно взаимосвязанных между собой, изменяющихся в относительно широком диапазоне случайным или непредсказуемым образом. В начале своего фундаментального труда [1] Г. Хакен отмечал, что системы могут быть сложными не только потому, что они состоят из большого числа частей, а еще и потому, что их отличает сложное поведение. Такое поведение, прежде всего, присуще системам, которые, как правило, имеют относительно большое число критериев, а также большое число взаимосвязанных между собой переменных, часть из которых зачастую изменяется случайным или непредсказуемым образом. Это предопределяет множественность возможных траекторий развития СС.

[3] Выживаемость (survival) – группа статистических методов, получившая соответствующее название вследствие их изначально широкого применения в медицинских исследованиях. Позднее данные методы стали применяться в страховой сфере и социальных науках.

[4] Такая СС является антропоморфной.

аппарата, это свойство характеризует успешность выполнения боевых операций в условиях противодействия противника. Но мы должны согласиться с тем, что успешность выполнения, например, боевых операций, является следствием успешности действия как механизма, так и организма, им управляющего. В этой связи для антропоморфных СС исследователи вынуждены моделировать процессы, заключающиеся во взаимодействии механизмов и организмов. Однако следует учитывать, что для СС, представляющих только живые организмы, анализ **выживаемости** моделируется процессами наступления терминальных (критических) событий для элементов какой-либо совокупности.

Как правило, анализ **выживаемости** живых организмов заключается в исследованиях моделей, описывающих данные о времени наступления события, при котором объект *S* прекращает существование. Вследствие этого традиционно в границах данного подхода рассматриваются лишь единичные и единовременные терминальные события.

При этом объект *S* описывается следующей функцией $S(t) = P(T [t)$, где t – это время, в ходе которого проводилось наблюдение за совокупностью *T*, которая является случайной величиной, обозначающей момент "покидания" объектом *S* совокупности *T*, а *P* означает вероятность «смерти» в заданном временном интервале. Таким образом, функция **выживания** описывает вероятность гибели некоторое время спустя, после момента t.

Обычно предполагается, что $S(0) = 1$, хотя это значение может быть и меньше, чем 1, если есть вероятность немедленной неудачи, после чего функция **выживания** приобретает вид $S(u) \le S(t)$. Эта особенность вытекает из того, что условие $T [u$ подразумевает, что $T [t$. По сути, здесь подразумевается, что **выживание** для более позднего периода возможно только после **выживания** в ходе более раннего периода. Предполагается, что функция **выживания** $S(t) \to 0$ при $t \to \infty$.

В работе [5] показано, что модели **выживания** могут быть содержательно представлены в виде моделей линейной регрессии, поскольку все распределения могут быть сведены к линейным с помощью подходящих преобразований.

Таким образом, исследования антропоморфной системы на её **выживание** должно включать совокупность моделей живой и неживой (технической) систем. Для этого обратимся к науке бионике, способной оказать помощь инженерам в поиске новых технических решений путем имитации процессов функционирования живых организмов. В этом месте мы сталкиваемся с относительными морфизмами, поскольку при этом изучаются различные физические и метрические отношения. Общим для всех этих случаев является то, что у изоморфных объектов часто наблюдается образование различных статических и динамических структур, необходимых для их **выживания** в установленной среде.

Проводя аналогию между процессами, влияющими на **выживаемость** живых организмов, и процессами, влияющими на **устойчивое функционирование** антропоморфных систем, исследуем гипотетическую модель многокритериальной СС с учётом того, что, как правило, ко всем задачам, которые стоят перед СС, прежде всего, ставится основная задача – выбор из множества альтернативных целей той цели, которая в сложившейся ситуации представляет самую предпочтительную – основную цель, достижение которой улучшает **выживаемость** СС. Механизм выбора цели, который применяет человек, вероятно, основывается на прогнозе будущего своего состояния, связанного с выбором этой цели [1; 6].

Принимаем, что ограничения, которые налагаются на критерии для того, чтобы цели не выходили за допустимые пределы, "вырезают" в пространстве состояний СС многогранник М, который представляет результат пересечения допустимых значений частных критериев. Зона пересечения допустимых областей является областью компромисса (ОК) альтернативных (частных) критериев. Принимаем, что для того, чтобы СС находилась в ОК, пользователю достаточно назначить

координаты точки, расположенной в объёме многогранника М. Естественно, что пользователь, в зависимости от его предпочтения к критериям, будет выбирать координаты этой точки только в объёме многогранника М.

Согласно постановке задачи, за пределами ОК СС погибает. Вследствие этого, задачу назначения единого критерия СС из множества альтернативных критериев можно интерпретировать как установление в объёме многогранника М некоторой точки С, координаты которой соответствуют определённым численным значениям частных критериев. Если точка С равноудалена от граней (критериев) многогранника М, эту точку будем называть идеалом ОК, при этом полагаем, что для реальных СС идеал ОК едва ли достижим, но его виртуальное существование создаёт возможность выбора точки С, допустимо приближенной к идеалу. Ещё раз отметим, что положение точки С за пределами объема многогранника М свидетельствует о гибели СС.

Особенность выбора единого критерия СС из множества альтернативных критериев заключается в необходимости назначения общей для всех альтернативных (частных) критериев меры, применяемой для определения влияния каждого альтернативного критерия на **выживаемость** СС. Такой мерой могут быть затраты (времени, ресурсов и т. д.).

Например, в материаловедении всегда существовала задача получения желаемых физических, химических, механических и других свойств $w_i(i=1,...,n)$, приобретаемых при производстве этих изделий [7]. Каждому свойству, из множества известных свойств, соответствует определенный критерий $w^*_{i,r}(r=1,...,s) \in w_i$, по которому **оценивается** качество металла, а также технологичность или экономичность его производства. Таким образом, есть $w_i(i=1,...,n)$ – множество качественно неоднородных критериев $\{w^*_{i,r}(r=1,...,s)\}$ включающих подмножество качественно однородных критериев1.

Например, в [8] приведен неполный перечень качественно неоднородных критериев, часть из которых характеризует физические, химические, технологические, механические и экономические качества[2] получаемого металла. Желаемые показатели частных критериев чаще всего диктуются заказчиком, устанавливающим допустимые значения каждого критерия.

Как мы уже отмечали, ограничения, налагаемые на частные критерии, “вырезают” в пространстве состояний СС область, называемую областью компромисса, выход за пределы которой, по условию, приводит к гибели СС. Покажем это на конкретном примере.

На сегодняшний день остро стоит проблема оперативной оценки качества массивных металлических отливок, в частности, прокатных валков. Анализ традиционных методов прогноза их качества, включая неразрушающий контроль, количественную металлографию, и анализ математических моделей, базирующихся, в основном, на статистических данных, показали, что эти методы сравнительно затратные и нередко приводят к результатам, расходящимся с требованиями ГОСТов. Это связано с тем, что реализовать наиболее очевидный, детерминированный подход, применяемый для оценки механических свойств валков, основанный на анализе причинно-следственных связей и отношений, не представляется возможным, поскольку технология их производства является многопараметрической и многокритериальной.

Вследствие этого на качество металла оказывает значительное влияние большое количество параметров технологии (химического

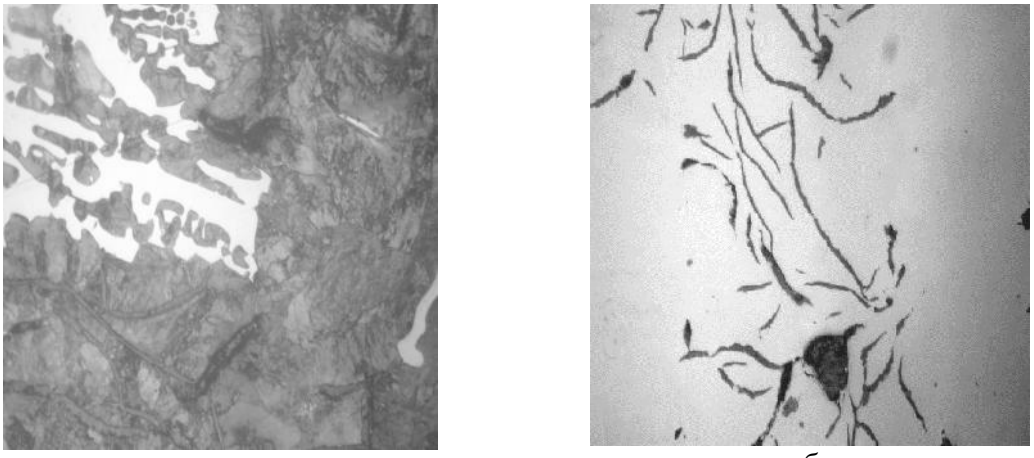
[1] Например, w_1 может выступать в качестве множества показателей механических свойств металла, таких как прочность – $w^*_{1,1}$, пластичность $w^*_{1,2}$ и т. д., а w_2 может выступать в качестве множества экономических показателей, таких как, например, прибыль $w^*_{2,1}$, себестоимость $w^*_{2,2}$ и т.д.

[2] Ниже мы будем называть любой критерий из этого множества частным критерием.

состава, легирующих элементов, условий охлаждения и др.), сильно взаимосвязанных между собой. Даже незначительные изменение части этих переменных изменяют свойства металла в относительно широком диапазоне.

Задача идентификации качества целевого продукта осложняется еще и тем, что по своей физической природе некоторые критерии зачастую противоречат друг другу. Улучшая один критерий, мы часто ухудшаем другой. Большинство альтернативных критериев назначаются в допустимых, относительно малых интервалах, оказывающих сравнительно небольшое влияние на величину этих критериев. Вероятно, это продиктовано тем, что разработчики технологического процесса, стремясь выдержать его, насколько это возможно, в конкретно заданной области параметров технологии, устанавливают предельные значения этих критериев. Область, в которой критерии допустимо противоречат друг другу, назовем **ОК критериев**, выход за пределы которой нарушает **выживаемость** СС.

В качестве примера объектом исследования были выбраны чугунные валки исполнения СПХН (2,4÷3,85 % C; 0,2÷1,8 % Si; 0,1÷0,9 % Mn; 0,05÷0,4 % P; 0,05÷0,4 % S; 0,1÷0,8 % Cr; 0,2÷1,2% Ni). Из рабочего слоя бочек (рис. 1) изготовлялись тангенциальные образцы для механических испытаний.



а *б*

Рис. 1. Структура бочки валка марки СПХН-49 после травления в HNO_3 *(а) и до травления (б) на расстоянии 20 мм от поверхности: перлит, графит и карбиды,* ð*200*

Для выявления ОК были получены графики зависимости каждого частного критерия от каждого параметра.

Определение ОК производится посредством назначения допустимых значений каждого критерия, а также предельных значений управляемых переменных (элементов химсостава, ограниченных ТУ 14-2-1188) и представленных в едином масштабе [9]. Если наложить друг на друга графики зависимости каждого критерия от выбранного параметра, то область пересечения всех графиков представит зону, в которой каждый критерий, будет удовлетворять требованиям технологии. При наложении этих графиков получают ОК свойств. В данном случае под ОК понимается такое сочетание элементов химического состава, которое позволяет получить допустимое сочетание свойств целевого продукта, в противном случае продукт отбраковывается.

На рисунке 2 приведена область субкомпромисса механических свойств исследуемых валков в зависимости от химического состава.

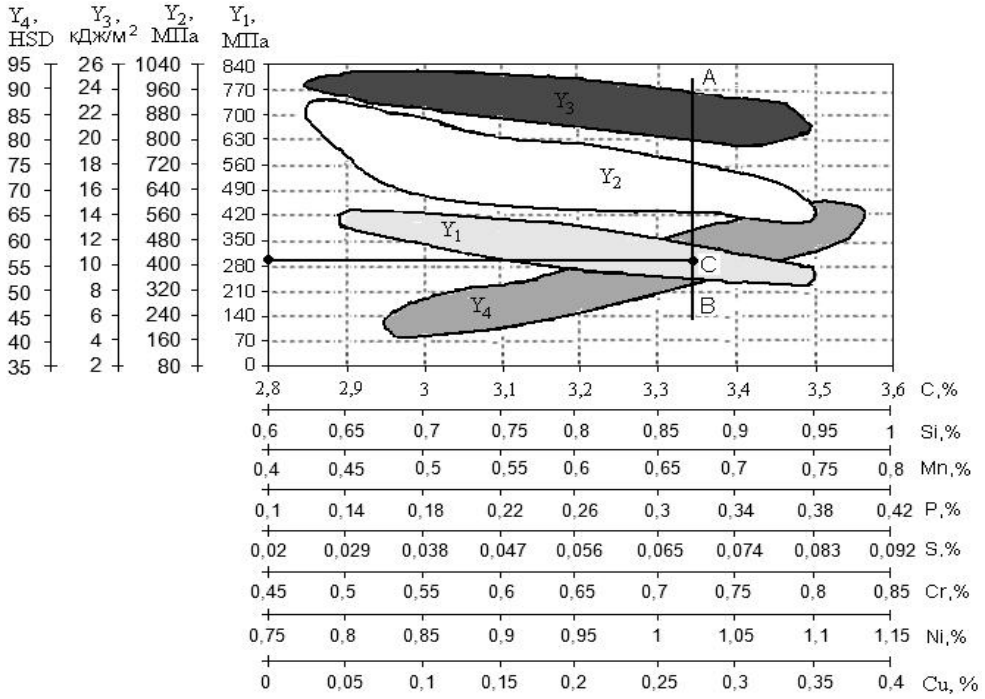


Рис. 2. ОК механических свойств рабочей зоны бочек чугунных прокатных валков исполнения СПХН в зависимости от их химического состава: Y_1 ù 220 ö 380 МПа, Y_2 ù 390 ö 840 МПа, Y_3 ù 8 ö 25 кДж/м^2, Y_4 ù 40 ö 70 HSD с учетом всего диапазона применяемых степеней охлаждения в металлической форме

При наличии предпочтения к одному из механических свойств (например, к пределу прочности – на рисунке точка С), проведя вертикаль АВ через указанную область субкомпромисса можно прогнозировать химический состав изделия и интервал существования его механических свойств.

Выводы. Применение данного подхода в производственных условиях позволяет проводить прогноз химического состава изделия и его механических свойств изделия с минимальными материально-временными затратами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1985. – 424 с.
2. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций / Ю. Б. Гермейер. – Москва : Наука, 1971. – 383 с.
3. Дубров Ю. И. Учет влияния неуправляемых факторов при анализе и синтезе критерия функционирования сложных систем / Ю. И. Дубров, В. В. Фролов, А. Н. Вахнин // Экономика и математические методы. – 1986. – № 1. – С. 165–170.
4. Дубров Ю. И. Информационная «бедность» задач экологического прогнозирования и некоторые пути ее разрешения / Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – 2000. – № 1. – С. 191–197.
5. Халафян А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – Москва : Бином, 2009. – 528 с.
6. Смирнов Н. Н. Экология биосферной катастрофы / Н. Н. Смирнов – Москва : Знание, 1988. – 64 с.
7. Большаков В. И. Решение многокритериальной задачи металловедения с качественно неоднородными критериями / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – 2004. – № 11. – С. 95–102.
8. Большаков В. І. Матеріалознавство / В. І. Большаков, О. Ю. Береза, О. Ю. Миронова, В. І. Харченко. – Канада : Базіліан Пресс, 1998. – 219 с.
9. Способ определения области компромисса критериев качества многокритериальных технологий : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 53769 від 18.02.2014 р. / Большаков В. І., Волчук В. М., Дубров Ю. І. – 1 с.

REFERENCES

1. Haken G. *Sinergetika. Ierarhiya neustoichevostey v samoorganizuyushchihsya sistemah i ustroistvah* [Synergetics [The hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices]. Moscow, Mir, 1985. 426 p. (in Russian).
2. Germeier Yu. B. *Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsiy* [Introduction to operations research]. Moscow, Nauka, 1985. 383 p. (in Russian).
3. Dubrov Yu. I., Frolov V.V., Vakhin A.N. Uchet vliyaniya neupravlyaemyh factorov pri analize i sinteze kriteriya funktsionorovaniya slozhnyh system [Accounting of influence of uncontrollable factors in the analysis and synthesis of complex systems criterion]. *Ekonomika i matemoticheskiee metody* - Economics and mathematical methods, 1986, no. 1, pp. 165-170. (in Russian).
4. Dubrov Yu. I. *Informatsionnaya bednost' zadach ekologicheskogo prognozirovaniya i nekotoryeputi ee razresheniya* [Information "poverty" ecological forecasting problems and some ways to resolve it]. Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukrainy −Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine.2000, no.1, pp. 191-197. (in Russian).
5. Halafyan A. A. *Statistika 6. Statisticheskiy analiz dannyh* [Statistics 6. Statistical analysis of data]. Moscow, Binom, 2009. 528 p. (in Russian).
6. Smirnov N. N. *Ekologiya biosfernoy katastrofy* [Ecology biospheric catastrophe]. Moscow, Znanie, 1988. 64 p. (in Russian).
7. Bolshakov V. I., Dubrov Yu. I. *Reshenie mnogokriterial'noy zadachi metalovedeniya s kachestvenno neodnorodnymi kriteriyami* [Multicriteria decision problem of metallurgy with qualitatively heterogeneous criteria]. Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukrainy −Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2004, no.11, pp. 95-102. (in Russian).
8. Bolshakov V. I., Bereza O.Yu., Mironova O.Yu., Kharchenko V.I. *Materialoznavstvo* [Materials Science]. Kanada, Bazilian Press, 1998, 219 p. (in Ukrainian).
9. Bolshakov V. I., Volchuk V.M., Dubrov Yu.I. *Sposob opredeleniya oblasti kompromissa kriteriev kachestva mnogokriterial'nyh tehnologiy: svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na tvir № 53769 vid 18.02.2014* . [A method for determining of the area of compromise quality criteria multicriteria techniques: certificate of registration of copyright. No. 53769 dated 18.02.2014]. (in Russian).

УДК 57.041:045

АНАЛИЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

ТИМОШЕНКО Е. А. [1*], *к. т. н., доц.*
САВИЦКИЙ Н. В. [2], *д. т. н., проф.*
[1*] Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelena09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820
[2] Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Аннотация. Цель. Человек подвергается воздействию неблагоприятных факторов не только на производстве, но и находясь в помещениях жилых зданий. Основное время современный человек проводит в закрытых помещениях. Его комфортное существование и здоровье во многом зависят от того, насколько экологически безопасна внутренняя жилая среда, а контроль качества воздуха жилых помещений является определяющим в обеспечении экологической безопасности жилища человека. Необходимо проанализировать спектр внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на экологическую безопасность жилья, и дать им оценку с помощью систематизации параметров и критериев, предложенных различными исследователями. ***Методика.*** Так как на решение проблемы экологической безопасности жилища направлены исследования специалистов различных областей науки (токсикологов, гигиенистов, экологов, архитекторов, инженеров-проектировщиков и т. д.), необходимо объединение их знаний и исследований с целью создания единой концепции экологической безопасности помещений жилых зданий. ***Результаты.*** Выполнен анализ и дана характеристика основных факторов, влияющих на экологическую безопасность помещений жилых зданий, с оценкой их воздействия на здоровье людей. Предложены биоклиматические критерии оценки факторов окружающей среды, влияющих на экологическую безопасность жилых домов. Рассмотрены химические и физические источники загрязнения воздушной среды жилых зданий. Выделены приоритетные эколого-гигиенические параметры, определяющие экологическую безопасность жилой среды помещений. ***Практическая значимость.*** Результат проделанной работы по анализу факторов, влияющих на качество внутренней жилой среды помещений, может быть использован в разработке унифицированной методики комплексной оценки экологической безопасности современных жилых домов из гармоничных строительных материалов, а также в создании единой концепции экологической безопасности помещений жилых зданий.

Ключевые слова: *экологическая безопасность, внутренняя жилая среда, эколого-гигиенические параметры, экологический дом, качество воздушной среды.*

АНАЛІЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ПРИМІЩЕНЬ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

ТИМОШЕНКО О. А. [1*], *к. т. н., доц.*
САВИЦЬКИЙ М.В. [2], *д. т. н., проф.*
[1*] Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelena09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820
[2] Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Анотація. Мета. Людина піддається впливу несприятливих факторів не тільки на виробництві, а й перебуваючи в приміщеннях житлових будинків. Основний час сучасна людина проводить у закритих приміщеннях. Її комфортне існування і здоров'я багато в чому залежать від того, наскільки екологічно безпечне внутрішнє житлове середовище, а контроль якості повітря житлових приміщень є визначальним у забезпеченні

екологічної безпеки житла людини. Необхідно проаналізувати спектр зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на екологічну безпеку житла, і дати їм оцінку за допомогою систематизації параметрів і критеріїв, запропонованих різними дослідниками. ***Методика***. Оскільки на вирішення проблеми екологічної безпеки житла спрямовані дослідження фахівців різних галузей науки (токсикологів, гігієністів, екологів, архітекторів, інженерів-проектувальників тощо), необхідне об'єднання їхніх знань і досліджень з метою створення єдиної концепції екологічної безпеки приміщень житлових будинків. ***Результати.*** Виконано аналіз і дано характеристику основних факторів, що впливають на екологічну безпеку приміщень житлових будинків, з оцінкою їх впливу на здоров'я людей. Запропоновано біокліматичні критерії оцінки факторів навколишнього середовища, що впливають на екологічну безпеку житлових будинків. Розглянуто хімічні та фізичні джерела забруднення повітряного середовища житлових будівель. Виділено пріоритетні еколого-гігієнічні параметри, що визначають екологічну безпеку житлового середовища приміщень. ***Практична значимість.*** Результат виконаної роботи з аналізу факторів, що впливають на якість внутрішнього житлового середовища приміщень, може бути використаний у розробленні уніфікованої методики комплексної оцінки екологічної безпеки сучасних житлових будинків із гармонійних будівельних матеріалів.

Ключові слова: *екологічна безпека, внутрішнє житлове середовище, еколого-гігієнічні параметри, екологічний будинок, якість повітряного середовища.*

ANALYZE AND CHARACTERIZE THE MAIN FACTORS THAT INFLUENCE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE PREMISES RESIDENTIAL BUILDINGS

TIMOSHENKO E. A [1*], *Cand. Sc. (Tech.)*
SAVYTSKYI M. V. [2], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
[1*] Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelena09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820
[2] Department of Reinforce-Concrete and Stoune Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Abstract. Purpose. Person is exposed to adverse factors, not only in the workplace, but also being in residential buildings. Modern person spends the main time indoors. Comfortable existence and human health is largely dependent on how internal living environment is environmentally safe and air quality control of dwelling is determinative in environmental safety of human's dwellings. It is necessary to analyze the range of external and internal factors influencing on the ecological safety of dwelling and evaluate them using the systematization of parameters and criteria proposed by various researchers. ***Methodology***. On solving the problem of ecological safety of the dwelling focused specialists in various fields of science (toxicologists, hygienists, ecologists, architects, engineers, designers, and so on) it's necessary to join their knowledge and investigation with a purpose of one creation of one concept of the environmental safety of residential buildings. ***Findings***. The analysis and characteristics of the main factorsare carried out influencing the environmental safety of the premises of residential buildings, with an assessment of their impact on human health. Bioclimatic criteria for assessing the environmental factors are proposed affecting the ecological safety of homes. The chemical and physical sources of air pollution in residential buildingsare analyzed. Priority ecological and hygienic parameters are identified determining the environmental safety of the living environment. ***Practical value.*** The result of this work to analyze the factors affecting the quality of the living environment inside buildings, can be used in the development of a unified method for integrated assessment of ecological safety of modern residential houses of harmonious construction materials and also in a creation of one concept of the environmental safety of residential buildings.

Keywords: *environmental safety, internal living environment, ecological and hygienic parameters, ecological house, air quality.*

Введение. В настоящее время не вызывает сомнения, что человек подвергается воздействию неблагоприятных факторов не только на производстве, но и находясь в помещениях жилых зданий. Проблема экологической безопасности человека в жилище встала достаточно остро в 1983 году. Всемирная организация здравоохранения выдвинула тогда концепцию "синдрома больных зданий" и "синдрома применения вредных

строительных материалов". Этими терминами определяется комплекс жалоб жителей городов на плохое самочувствие, которое сопровождается головной болью, головокружением, повышенной утомляемостью, раздражением глаз, носа и горла. Так как основное время современный человек проводит в закрытых помещениях, а наиболее чувствительный контингент – дети и пожилые люди – до 90 % времени, то их комфортное существование и здоровье во многом зависят от того, насколько экологически безопасна внутренняя жилая среда, определение качества которой можно условно разделить на три составляющие :

- внутренний климат – микроклимат помещения (искусственно создаваемые климатические условия в закрытых помещениях для защиты от неблагоприятных внешних воздействий, оптимальные для организма человека сочетания температуры, влажности, скорости движения воздуха и воздействия лучистого тепла, освещенность помещения, инсоляция, уровень шума) [11];

- качественный и количественный состав воздуха помещений жилых зданий, определяемый его химическим, радиационным, электромагнитным и биологическим загрязнениями, ионным составом [11];

- внешняя среда, т. е. совокупность условий жизнедеятельности человека, в которую входят топология населенного пункта, водные и зеленые пространства, разнообразные элементы застройки, сам человек и процессы его жизнедеятельности, а также геопатогенные зоны земной коры.

Цель. Внутренний климат в настоящее время достаточно изучен такими учеными как Богословский В. Н. [6], Губернский Ю. Д. [7], Савин В. К. [9] и многими другими. В то же время подготовлены соответствующие нормативные и законодательные документы, публикации и монографии. Вопрос экологической безопасности жилища, зависящей от качества воздуха, его физического, химического, электромагнитного, радиационного и биологического загрязнений, изучен не достаточно, несмотря на то, что исследованию этой проблемы были посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых, таких как Ю. Д. Губернский, А. Л. Чижевский [10], Э. Экхольм [12] , В. А. Киптик [4] и другие.

Особенности внешней (окружающей природной) среды и актуальные проблемы ее экологической безопасности отражены в фундаментальных трудах А. П. Дуброва [8], Д. В. Зеркалова [9] и других ученых.

Проведение системного анализа и характеристика всего спектра внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на экологическую безопасность жилья, являются целями данной статьи.

Методика. Поскольку на решение проблемы экологической безопасности жилья направлены исследования специалистов различных областей науки (токсикологов, гигиенистов, экологов, архитекторов, инженеров-проектировщиков и т. д.), необходимо объединение их знаний и исследований для создания единой концепции экологической безопасности помещений жилых зданий. Чтобы достичь поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- анализ и характеристика основных факторов, влияющих на экологическую безопасность помещений жилых зданий, с оценкой их воздействия на здоровье людей;

- обоснование приоритетных эколого-гигиенических параметров, определяющих экологическую безопасность жилой среды помещений.

В настоящее время в Украине строительными нормами и правилами во внутренней среде жилых помещений регламентируются только такие параметры как температура, влажность, кратность воздухообмена, в отдельных случаях – акустика. Практически не существует экологических нормативов по содержанию вредных примесей в воздушной среде жилого помещения, не нормирован электростатический и магнитный фон, отсутствуют показатели радиоактивности жилой среды.

Учитывая особую социальную значимость доступного экологического жилья, необходимо установить усредненные

показатели экологической безопасности для различных групп людей, помещений многофункционального назначения и разных климатических условий. В эколого-гигиеническом регламентировании нуждаются все составляющие жилой среды, действующие на биологическое и психологическое состояние человека.

Неблагоприятные экологические факторы жилой среды (или внутренней среды жилого дома) могут быть разделены на две основные группы:

1) являющиеся непосредственными причинами возникновения ряда специфических заболеваний;

2) способствующие созданию условий для развития специфических заболеваний.

Результаты. Существует часть факторов, которые практически всегда вызывают заболевания. К ним можно отнести применение строительных материалов, включающих асбест, формальдегид, железобетон, использование в практике эксплуатации жилых помещений некоторых лакокрасочных материалов и предметов бытовой химии, являющихся аллергенами.

На человека в жилом доме действует комплекс факторов различного характера и направленности. Например, изменение наружной температуры воздуха вызывает изменение скорости выделения токсичных веществ из полимерных материалов, а повышение влажности воздуха в жилых помещениях способствует увеличению биологического загрязнения воздуха.

При разработке принципов нормирования эколого-гигиенических показателей в жилой среде, обеспечивающих экологическую безопасность помещения, следует исходить из следующих положений:

- создание безопасных и комфортных условий для жизнедеятельности и восстановления здоровья человека;
- комплексность учета химических, физических и технологических факторов;
- дифференцированный подход (в зависимости от климатических и других природных условий).

До настоящего времени недостаточно изученным остается вопрос формирования качества воздушной среды во внутренних помещениях жилых зданий в зависимости от качества наружного воздуха в различных городах Украины. Также отсутствует учет экологических показателей при оценке стоимости жилья. Исследованиями установлено, что в воздухе жилых зданий одновременно может присутствовать более 100 летучих химических веществ и соединений, в том числе относящихся к I и II классу опасности: углеводороды, эфиры, спирты, аэрозоли свинца, ртути, кадмия, цинка, никеля, хрома и других металлов.

Новые стеновые и отделочные материалы, изготовленные с применением химических добавок, могут являться источником загрязнения окружающей среды токсичными веществами.

В промышленности строительных материалов порой находят применение гальванические шламы различных производств, используемые при изготовлении бетонных блоков. Металл, находящийся в гальваношламе, в процессе эксплуатации жилого дома может поступать в воздушную среду помещения и представлять опасность для здоровья человека.

Актуален вопрос о нормативном содержании загрязняющих веществ в воздушной среде жилого здания. Считается, что концентрации загрязняющих ингредиентов не должны превышать их ПДК, установленные для населенных мест. Однако следует осознать тот факт, что внутри помещений химические загрязнения воздействуют на организм человека в сочетании с температурными, влажностными, геопатогенными, ионизирующими, электромагнитными, радиоактивными и другими факторами.

Сочетание высокой влажности как с теплым, так и с холодным воздухом неблагоприятно сказывается на тепловом состоянии человека. Высокая относительная влажность (80 % и более) при высокой температуре создает тепловой дискомфорт, затрудняет теплоотдачу. В то же время чрезмерно сухой воздух (менее 30 %) также небезопасен для жизнедеятельности организма человека, так как ухудшает функциональные способности верхних дыхательных путей.

Оптимальной в помещениях считается влажность воздуха 45 %.

Необходимо отметить роль ветрового показателя, как в формировании теплового режима жилых помещений, так и в степени их насыщения загрязняющими ингредиентами антропогенного происхождения.

Оптимальными показателями подвижности воздуха для таких зданий следует признать в холодный период 0,07…0,1 м/с, а в теплый – 0,2 м/с.

В системе показателей экологической безопасности жилых и общественных зданий нельзя не учитывать роль солнечной радиации, которая имеет огромное физиологическое, бактерицидное, санитарно-гигиеническое значение. При недостатке солнечного освещения резко ослабляются защитные функции организма человека, ухудшается самочувствие, снижается работоспособность.

Обеспечение экологического комфорта в жилых зданиях во многом может быть достигнуто за счет формирования качественной воздушной среды, которая находится в прямой зависимости от мощности и направленности внешних (точечных, линейных, стационарных, передвижных) источников загрязнения атмосферного воздуха.

При расчетах оптимального режима воздухообмена в жилых домах и проектировании систем приточно-вытяжной вентиляции следует вести расчеты не только с точки зрения тепловыделений и углекислот от человека, но и с учетом качественного состояния наружного воздуха, степени его насыщения техногенными ингредиентами.

Учитывая взаимосвязь качества внутренней среды жилых помещений с качеством окружающей природной среды урбанизированных территорий Украины, следует ориентироваться на отдельные критерии комфортности окружающей природной среды, систематизированные в таблице 1.

Отдельно стоит остановиться на экологичности строительных материалов, применяемых для жилых домов в городах Украины, поскольку экологическая безопасность здания находится в прямой зависимости от качества стеновых и отделочных материалов.

Разработка требований экологической безопасности строительных материалов должна основываться на экологических нормативах, регламентирующих пределы допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ.

Таблица 1

Биоклиматические критерии оценки факторов окружающей природной среды

Факторы	Комфорт	Дискомфорт	
		перегрев	охлаждение
Относительная влажность, %	30…70	менее 30; более 70	более 80
Температура воздуха, ˚С	12…26 (в умеренном климате)	более 26	–30…–35 при скорости ветра 1,5 м/с; –25 при скорости ветра 2 м/с; –15 при скорости ветра 3,5 м/с
Скорость ветра, м/с	0,5…3,0	менее 0,5; более 3,0	более 5 при отрицательной температуре и снегозаносах.

Необходимы дополнительные научные исследования возможностей применения и/или создания новых материалов на основе природного сырья и местных материалов, добываемых в непосредственной близости к району строительства экологического дома.

Качество воды, добываемой из подземных источников, является еще одним важным фактором, который необходимо учитывать при создании экодома, поскольку существует опасность попадания химических загрязнений техногенного происхождения в строительные конструкции и материалы, выполненные из местных материалов (саманные блоки, соломенные крыши, тростниковые маты, костробетон, грунтобетон, цементогрунт, глина). Такие загрязняющие вещества как нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы (в том числе медь, цинк, свинец, кадмий, никель, ртуть) могут

попасть во внутреннюю среду жилых помещений.

Загрязняющие вещества, как правило, проникают в эти здания из внешней природной среды, но зачастую в больших концентрациях образуются в самих помещениях или примыкающих к ним подсобных строениях. Одним из характерных примеров является проникновение из земной коры и скопление в жилых и общественных зданиях радиоактивного газа радона.

Концентрация радона в жилых и общественных зданиях почти всегда варьируется в широких пределах. Она зависит главным образом от того, с какой скоростью загрязняющие вещества поступают внутрь помещения. Благодаря инфильтрации в здания попадает значительное количество наружного воздуха, обновляясь за 1…2 часа.

Еще один фактор, влияющий на экологическую безопасность жилья, – это скорость взаимодействия поступающего из наружной среды вещества с веществами, находящимися внутри помещения, как во взвешенном состоянии, так и на поверхности различных предметов.

В целом стратегия выработки методов комплексной оценки физических, химических и биологических факторов экологической безопасности жилых зданий может состоять из следующих направлений:

3) система стандартов и норм по оценке степени экологической безопасности здания;

4) методы контроля экологической безопасности различных типов зданий.

Система стандартов и норм по оценке степени экологической безопасности зданий должна базироваться на таких принципах как контроль среднего уровня воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека или контроль возникновения экстремального уровня загрязнения в помещениях жилого здания.

Многолетняя практика строительства жилых домов в городах Украины без систематизации данных в городских кадастрах, во многом определявшаяся минимизацией финансовых и материально-технических средств, привела к следующим результатам:

– отсутствие комплексной реализации проектных решений, обеспечивающих необходимую степень экологической безопасности урбанизированной территории, поэтому многие города не имели полностью реализованного генплана, а экономия средств достигалась за счет уменьшения благоустроенности внешней среды;

– недоучет экологического фактора при отводе городских земель под жилищное строительство;

– отсутствие «экологических ориентиров» при проектировании различных типов зданий, в том числе критериев экологической безопасности внутренней среды помещений.

Перечисленные выше факторы содействовали созданию некой стандартной городской среды, не способствующей защите жителей городов от техногенного воздействия источников загрязнения, не влияющей на экологическое сознание населения, не развивающей гармонию взаимоотношений между человеком и окружающей природной средой.

В настоящее время основные требования экологической безопасности жилых зданий определяются строительными нормами и правилами и гигиеническими нормами.

Воздушная среда в жилых зданиях должна отвечать таким гигиеническим требованиям, когда отсутствуют химические и органические загрязнения (тяжелые металлы, радон, аэрозоли и др.). Содержание СО не должно превышать 0,05…19,1 %. Такое состояние воздушной среды может быть достигнуто при кубатуре воздуха на одного человека 25…30 $м^3$ (минимальный показатель).

Одним из загрязняющих источников в жилом доме является кухонная газовая плита. В процессе сгорания сетевого или баллонного газа образуются такие токсические вещества, как оксиды азота, серы, углерода. Наиболее опасными являются оксиды азота. В качестве примера можно привести следующий факт: предельно допустимая концентрация оксидов азота в атмосферном воздухе

населенных мест (среднесуточная) составляет 0,085 мг/м^3. В процессе же эксплуатации газовой плиты концентрации оксидов азота могут превышать ПДК в 10 и более раз.

Качество воздушной среды жилых помещений по химическому составу в значительной степени зависит от качества атмосферного воздуха. Миграция органической и неорганической пыли, токсических веществ, содержащихся в наружном воздухе, во внутреннюю среду помещений обусловлена их естественной и искусственной вентиляцией. Вот почему вещества, присутствующие в атмосферном воздухе, обнаруживаются в помещениях даже при подаче воздуха через системы кондиционирования с высокой степенью очистки воздуха.

Основные источники загрязнения воздушной среды жилых зданий можно разделить на четыре группы:

5) вещества, поступающие извне с загрязненным атмосферным воздухом;

6) продукты деструкции строительных и отделочных материалов;

7) антропотоксины;

8) продукты сгорания бытового газа и продукты жизнедеятельности человека.

Физические факторы экологической безопасности жилых и общественных зданий включают параметры микроклимата, вибрацию, акустику, инсоляцию, электромагнитные поля и радиационный фон.

Загрязнение электромагнитным излучением (ЭМИ) во внутренней среде жилых помещений в настоящее время достигло таких величин, что данный фактор стал весьма ощутимым своим воздействием на биологические объекты. Между продолжительностью воздействия ЭМИ и состоянием здоровья человека имеется корреляционная зависимость, приводящая к снижению иммунитета организма, увеличению заболеваемости органов дыхания, болезней кожи, деградации сетчатки глаза, увеличению тяжести течения беременности и продолжительности патологических процессов [2].

Исследования последних лет свидетельствуют о причинной связи между ЭМИ и развитием злокачественных опухолей. Человек, живущий в городе, практически круглосуточно испытывает воздействие ЭМИ снаружи и внутри зданий.

Сочетание ЭМИ с химическими загрязнениями и радиационными факторами на фоне низкокалорийного питания в условиях современной реальности для значительной части населения представляет собой реальную угрозу здоровью человека.

Высокоразвитые страны мира разрабатывают и применяют национальные стандарты, регламентирующие внутри помещений уровни статического электрического поля (СЭП), электромагнитного поля низкой частоты (НЧ) и сверхвысокой частоты (СВЧ) [3; 5]. Такие страны как Швеция и Канада имеют государственные стандарты для электромагнитных излучений очень низких частот (ОНЧ).

Если жилые здания расположены возле передающих радио- и телестанций, то внешнее ЭМИ накладывается на «бытовое» электромагнитное поле, существующее практически в каждом жилом помещении, что создает высокие уровни напряженности биологически эффективного фактора.

Комплекс перечисленных факторов физического и химического воздействия на человека, возникающих под влиянием внешних природных и техногенных особенностей на урбанизированных территориях Украины, в сочетании с конструктивными и технологическими особенностями жилых зданий, образует внутреннюю среду закрытых помещений, которая является зачастую экологически опасной средой для человека.

Практическая значимость. В рамках системного подхода к созданию концепции экологической безопасности жилых помещений необходим учет максимального количества параметров, исследование взаимосвязей положительного и отрицательного воздействий антропогенных факторов. При оценке степени экологической безопасности внутренней среды жилых зданий следует учитывать следующие факторы:

- объемно-планировочное решение (удельная площадь, объем помещения);

- микроклимат (температура воздуха и ограждений, интенсивность инфракрасной радиации, относительная влажность и скорость движения воздуха);
- воздушная среда (воздухообмен, газовый, химический, ионный и бактериальный составы воздуха);
- световая среда (естественное и искусственное освещение, инсоляция, яркость, солнцезащита, ориентация окон);
- шумовой и вибрационный режимы;
- радиационный фон (активность);
- электромагнитное поле (напряженность);
- геомагнитное поле (напряженность);
- электрическое поле.

Результат проделанной работы по анализу факторов, влияющих на качество внутренней жилой среды помещений, может быть использован в разработке унифицированной методики комплексной оценки экологической безопасности современных жилых домов из гармоничных строительных материалов, а также в создании единой концепции экологической безопасности помещений жилых зданий.

Выводы

1. Качество жилой среды можно разделить на три составляющие:
- внутренний климат – микроклимат помещения;
- качественный и количественный состав воздуха помещений жилых зданий;
- внешняя среда, т. е. совокупность условий жизнедеятельности человека.

2. С целью создания единой концепции экологической безопасности помещений жилых зданий необходимо решить следующие задачи:
- анализ и характеристика основных факторов, влияющих на экологическую безопасность помещений жилых зданий, с оценкой их воздействия на здоровье людей;
- обоснование приоритетных эколого-гигиенических параметров, определяющих экологическую безопасность жилой среды помещений.

3. Стратегия выработки методов комплексной оценки физических, химических и биологических факторов экологической безопасности жилых зданий может состоять из следующих направлений:
- система стандартов и норм по оценке степени экологической безопасности здания;
- методы контроля степени экологической безопасности различных типов зданий.

4. Комплекс рассмотренных факторов физического и химического воздействия на человека, возникающих под влиянием внешних природных и техногенных особенностей на урбанизированных территориях Украины, в сочетании с конструктивными и технологическими особенностями жилых зданий, образует внутреннюю среду закрытых помещений, которая является зачастую экологически опасной средой для человека.

5. В рамках системного подхода к созданию концепции экологической безопасности жилых помещений необходимы учет максимального количества параметров, исследование взаимосвязей положительного и отрицательного воздействий антропогенных факторов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Адам А. М. Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири / А. М. Адам, Р. Г. Мамин. – Москва : НИА-Природа, 2001. – 172 с.
2. Зеркалов Д. В. Наукові основи безпеки людини / Д. В. Зеркалов. – Київ : Основа, 2015. – 846 с.
3. Национальные стандарты : информационный указатель / Федер. агенство по техн. регулированию и метрологии. – Москва, 2015. – № 1.
4. Кіптик В. А. Забезпечення радіаційної безпеки населення на основі використання будівельних матеріалів з заданими параметрами : автореф. дис.. … канд.. техн. наук: 05.26.01 / Кіптик Валерій Антонович ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2000. – 20 с.
5. Крутиков В. Н. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека / В. Н. Крутиков, Ю. И. Брегадзе, А. Б. Круглов. – Москва : Изд-во стандартов, 2013. – 225 с.
6. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. – Москва : Высш. шк., 1992. – 415 с.

7. Губернский Ю. Д. Жилище для человека / Ю. Д. Губернский, В. К. Лицкевич. – Москва : Стройиздат, 1991. – 227 с.
8. Дубров А. П. Земное излучение и здоровье человека (геопатия и биолокация) / А. П. Дубров. – Москва : Лекарь, 1993. – 175 с.
9. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека / Д. В. Зеркалов. – Київ : Основа, 2012. – 513 с.
10. Савин В. К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение / В. К. Савин. – Москва : Лазурь, 2005. – 432 с.
11. Чижевский А. Л. Краткое руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и в медицине : метод. указания при пользовании аэроионификационными установками «Союзсантехники» / А. Л. Чижевский // Журнал русской физической мысли. - 1991. – № 2. – С. 42-60.
12. Швец А. А. Разработка критериев экологической безопасности помещений жилых зданий и мероприятий по ее обеспечению : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.23.03 / Швец Алла Александровна; Ин-т строит. физики ААСН России. – Москва, 1996. – 27с.
13. Экхольм Э. Окружающая среда и здоровье человека : пер. с англ. Э. Экхольм. – Москва : Прогресс, 1980. – 234 с.

REFERENCES

1. Adam A. M., Mamin R. G. *Prirodnye resursy i ekologiceckayaa bezopasnost'* [Natural resources and environmental safety of Western Siberia]. Moscow, NIA Priroda, 2001. 172 p. (in Russian). Available at: http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=4928
2. Zerkalov D. V. *Naukovi osnovy bezpeky liudyny* [Scientific basis of human safety]. Kyiv, Osnova , 2015. 846 p. (in Ukrainian). Available at: http://www.zerkalov.kiev.ua/node/18
3. *Informatsionny ukazatel' Natsional'nye standarty* [Information Index "National Standards" (IIS)]. Moscow, Standartinform., 2015, no. 1. (in Russian). Available at: http://www.gostinfo.ru/
4. Kiptyk V. A. *Zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky naseleniana osnovi vykorystannia budivel'nyh materialiv z zadanymy parametramy* [Ensuring radiation safety of the public through the use of building materials with given parameters]. Avtoreferat Diss. Dnipropetrovsk, 2000. 20 p. (in Ukrainian).Available at:http://reftrend.ru/943735.html
5. Krutikov V. N., Bregadze Yu. I., Kruglov A. B. *Kontrol' fizicheskih factorov okruzhayushchey sredy, opasnnyh dlya cheloveka* [Monitoring physical environmental factors are dangerous to humans]. Moscow : Izdatel'stvo standartov, 2013. 225 p. (in Russian). Available at http://www.gosthelp.ru/text/Kontrolfizicheskixfaktoro.html
6. Bogoslovskiy V. N. *Stroitel'naya teplophizika (teplophizicheskiye osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozduha). Stroitel'naya teplofizika* [Building Thermal Physics (thermal basics of heating, ventilation and air conditioning)]. Moscow, Vysshaya Shkola , 1992. 415 p. (in Russian). Available at: http://rudocs.exdat.com/docs/index-87528.html
7. Gubernskiy Yu. D., Litskevich V. K. *Zhilizshe dlya cheloveka* [Housing for people]. Moscow, Stroyizdat, 1991. 227 p. (in Russian).Available at :http://razym.ru/naukaobraz/obrazov/135219-gubernskiy-yud-lickevich-vk-zhilische-dlya - cheloveka.html
8. Dubrov A. P. *Zemnoye izlucheniye i zdorov'ye cheloveka (geopatiya i biolokatsiya*) [Terrestrial radiation and human health (geopatiya and dowsing)]. Moscow, Lekar', 1993. 175 p. (in Russian). Available at: http://paralife.narod.ru/1health/dubrov/dubrov_cont.htm
9. Zerkalov D. V. *Ekologichna bezpeka* [Environmental sefety]. Kyiv, Osnova, 2012. 513 p. (in Ukrainian). Available at: http://www.twirpx.com/file/324383/
10. Savin V. K. *Stroitel'naya phizika : energoefektivnost', energosberezheniye* [Building physics: energy transfer, energy efficiency, energy conservation]. Moscow , Lazur', 2005. 432 p. (in Russian). Available at: http://razym.ru/naukaobraz/disciplini/fizika/261913-savin-vk-stroitelnaya-fizika-energoperenos-energoeffektivnost-energosberezhenie.html
11. Chizhevskiy A. L. *Kratkoye rukovodstvo po primeneniyu ionizirovanogo vozduha v promyshlennosti, sel'skom hozyaystve i v meditsine. Metodicheskiye ukazaniia pri pol'zovanii aeroionifikatsionnymi ustanovkami "Soyuzsantehniki"* [Quick Guide to the use of ionized air in industry, agriculture and medicine. Methodical instructions for the use of aeroionifikatsionnymi settings "Soyuzsantehniki"]. Moscow, *Zhurnal russkoy fizicheskoy mysli* - Journal of russian physical thoughts, 1991, no. 2, pp. 42–60. (in Russian). Available at: http://ru/indx-faqex.php
12. Shvetz A. A. *Razrabotka kriteriyev ekologicheskoy bezopasnosti pomeszheniy zhilyh zdaniy i meropriyatiy po yeyo obespecheniyu*. [Development of criteria for environmental safety of the premises of residential buildings and of its provision]. Avtoreferat Diss. Moscow, 1996. 27 p. (in Russian). Available at: http://tekhnosfera.com/razrabotka-kriteriev-kologicheskoy-bezopasnosti-pomescheniy-zhilyh-zdaniy-i-neropriyatiy-po-ee-obespecheniyu
13. Ekholm E. *Okruzhayushchaya sreda i zdorov'ye cheloveka* [Environment and Human Health]. Moscow, Progress, 1980. 234 p. (in Russian). Available at : http://urss.ru/cgibin/db.pl

УДК 519.87:669.131.7

ОБЧИСЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ІНТЕРВАЛІВ АУСТЕМПЕРИНГУ МАТРИЦІ ЧАВУНІВ ІЗ КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

УЗЛОВ К. І. [*], *д. т. н.*
[*]Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Анотація. ***Мета.*** В інтервалі температур аустемперингу бейнітних чавунів із кулястим графітом (БЧКГ) 260…420 ºС спостерігається адекватно до структурного стану зміна характеру поведінки функцій механічних властивостей. Завданням цієї роботи було вивчення впливу температури ізотермічної витримки на формування мікроструктури металевої матриці та механічних властивостей зразків із чавунів із кулястим графітом та обчислення оптимальних температурних інтервалів аустемперингу їх матриці. ***Методика.*** Досліджені чавуни з кулястим графітом термічно зміцнені ізотермічним гартуванням на промисловому устаткуванні за технологією підприємства «Амстед-Рейл». Термічно оброблені зразки підлягали металографічному аналізу та механічним випробуванням за стандартними методиками. Математичну обробку здійснювали з використанням програми «Microsoft Excel 2003». Апроксимацію експериментальних даних проводили за допомогою програмного забезпечення «Curve Expert». Подальший аналіз моделі щодо наявності екстремальних точок і точок перегинів кривих залежностей проводили із застосуванням програми MathCAD 14. **Результати.** У статті визначено температурні інтервали формування бейнітних структур металевої матриці БЧКГ: нижній бейніт (260…280 °С), змішана бейнітна структура (300…360 °С), верхній бейніт (360…420 °С). Дослідження механічних властивостей БЧКГ продемонструвало інтенсивне монотонне зниження тимчасового опору руйнуванню в дослідженому інтервалі температур, закономірно протилежне за напрямком, але ідентичне щодо поведінки підвищення пластичних властивостей, та ступінчастий, відповідно до структурного стану, характер зміни твердості. Розгляд функції залежності твердості від температури аустемперингу проводили за допомогою апроксимації експериментальних даних. Здійснено аналіз моделі з точки зору пошуку екстремальних точок та точок перегину. ***Наукова новизна.*** Математичною обробкою функціональної залежності структурно-чутливої властивості (твердості) від температури аустемперингу визначено наявність точки перегину відповідного поліному та її положення. ***Практична значимість.*** Обчислені кількісні значення температурних інтервалів структуроутворення бейнітної матриці БЧКГ та відповідної поведінки властивостей виробів із них дозволяють прогнозно призначати промислові режими термічного зміцнення для деталей із специфічними умовами експлуатації.

Ключові слова: *бейнітний чавун із кулястим графітом, аустемперинг, структурний стан, механічні властивості, програмне забезпечення, поліноміальна залежність, аналіз моделі, промислові режими термічного зміцнення*.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНТЕРВАЛОВ АУСТЕМПЕРИНГА МАТРИЦЫ ЧУГУНОВ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

УЗЛОВ К. И. [*], *д.т.н.*
[*] Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, проспект Гагарина, 4, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Аннотация. Цель. В интервале температур аустемперинга бейнитных чугунов с шаровидным графитом (БЧШГ) 260…420 °С наблюдается адекватно структурному состоянию изменение характера поведения функций механических свойств. Задачей настоящей работы было изучение влияния температуры изотермической выдержки на формирование микроструктуры металлической матрицы и механических свойств образцов из чугунов с шаровидным графитом и вычисление оптимальных температурных интервалов аустемперинга их матрицы. **Методика.** Исследованные чугуны были термически упрочнены изотермической закалкой на промышленном оборудовании и по технологии предприятия «Амстед-Рейл». Термически упрочненные образцы подвергали металлографическому анализу и механическим испытаниям по стандартным методикам. Математическую обработку производили с использованием программного обеспечения «Microsoft Excel 2003». Аппроксимацию экспериментальных данных проводили с помощью программного обеспечения

«Curve Expert». Дальнейший анализ модели на предмет наличия экстремальных точек и точек перегибов кривых зависимостей осуществляли с использованием программного обеспечения MathCAD 14. **Результаты.** В работе определены температурные интервалы формирования бейнитных структур металлической матрицы БЧШ: нижний бейнит (260…280 °С), смешанная бейнитная структура (300…360 °С), верхний бейнит (360…420 °С). Исследование механических свойств БЧШГ продемонстрировало интенсивное монотонное снижение временного сопротивления разрушению в исследованном интервале температур, закономерно противоположенное по направлению, но идентичное по поведению повышение пластических свойств, и ступенчатый, соответственно структурному состоянию, характер смены твердости. Рассмотрение функции зависимости твердости от температуры аустемперинга осуществляли с помощью аппроксимации экспериментальных данных. Проведен анализ модели с точки зрения поиска экстремальных точек и точек перегибов. **Научная новизна.** Математической обработкой функциональной зависимости структурно-чувствительной характеристики (твердости) от температуры аустемперинга определено наличие точки перегиба соответствующего полинома и ее положение. **Практическая значимость.** Вычисленные количественные значения температурных интервалов структурообразования бейнитной матрицы БЧШГ и соответствующего поведения свойств изделий из них позволяют прогнозно назначать промышленные режимы термического упрочнения для деталей со специфическими условиями эксплуатации.

Ключевые слова: *бейнитный чугун с шаровидным графитом, аустемперинг, структурное состояние, механические свойства, программное обеспечение, полиномиальная зависимост, анализ модели, промышленные режимы термического упрочнения.*

CALCULATION OF OPTIMAL TEMPERATURE INTERVALS OF MATRIX AUSTEMPERING WITH NODULAR GRAPHITE CAST IRONS

UZLOV K. I. [*], *Dr. Sc. (Tech.).*
[*]Materials science department, National metallurgical academy of Ukraine, prospect Gagarina, 4, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Abstract. ***Purpose.*** In austempering temperature range 260...420 °C of bainitic cast irons with nodular graphite (ADI) the changing of the behavior of functions of mechanical properties is observed adequately to the structural condition. Objective of present work was an investigation of temperature influence of isothermal holding on microstructure formation of metal matrix and mechanical properties of cast irons with nodular graphite specimens and to calculate the optimal temperature intervals of their matrix austempering. ***Methodology***. Investigated globular graphite cast irons were thermally hardened by isothermal quenching on industrial equipment according to enterprise «Amsted-Rail» technology. Thermally treated samples were subject of metallographic analysis and mechanical tests according to standard methods. Mathematical processing carried out using the program «Excel 2003». Approximation of experimental data was done with software «Curve Expert». Further analysis of the model concerning the presence of extreme points and inflection points of the curve dependencies were realized using program «MathCAD 14». ***Findings.*** Temperature ranges of bainite structures forming in ADI metal matrix have been defined in the present work: lower bainite (260...280 °C), mixed bainite structure (300...360 °C), upper bainite (360...420 °C). Study of ADI mechanical properties demonstrated intense monotonous decreasing of ultimate tensile strengths in studied temperature range, naturally the opposite direction but identical regarding the behavior increased plastic properties and step – type, according to the structural condition, the nature of the changes in hardness. Consideration of the hardness functional dependence vs. austempering temperature obtained using experimental data approximation. Model analysis in terms of finding extreme points and inflection points was carried out. ***Originality.*** Mathematical processing of functional dependence of structurally sensitive properties (hardness) vs. austempering temperature determined the presence of point of corresponding polynomial curve inflection and its position. ***Practical value.*** Calculated quantitative values of ADI bainite matrix formation temperature intervals and appropriate behaviors of their products property, allow for forecasting prescribe industrial modes of thermal hardening for details of the specific conditions of operation.

Key words: *bainitic cast iron with nodular graphite, austempering, structural condition, mechanical properties, software, polynomial dependence, model analyses, industrial regimes of heat treatment*

Вступ. Мікроструктура продуктів бейнітної реакції залежить від температури проміжного перетворення [11; 14]. У специфічних температурних інтервалах [15] перетворення формуються змішані структури ізотермічного розпаду [2].

В дослідженнях [13] було встановлено, що в інтервалі температур аустемперингу

бейнітних чавунів із кулястим графітом (БЧКГ) 260…420 ºС спостерігається адекватно до структурного стану зміна характеру поведінки функцій механічних властивостей. При цьому за при температур 320…360 ºС зафіксовано змішані, тобто перехідні від нижнього до верхнього бейніту, структури. За цих самих температур спостерігали зупинку твердості у разі підвищення температури ізотермічної витримки.

Мета роботи – вивчення впливу температури ізотермічної витримки на формування мікроструктури металевої матриці та механічних властивостей зразків із чавунів із кулястим графітом та обчислення оптимальних температурних інтервалів аустемперингу їх матриці.

Методика. Матеріалом досліджень був чавун ВЧ 450 - 10 за ДСТУ 3925 [1]. Термічну обробку методом ізотермічного гартування здійснювали на підприємстві «Амстед-Рейл» на промисловому устаткуванні за технологією, характеристики якої розглянуті в [12].

Металографічний аналіз проводили на виготовлених за стандартними методиками (ГОСТ 5639 [3],ГОСТ 3443 [4]) мікрошліфах за допомогою мікроскопа «Neophot-2».

Механічні випробування на статичний розтяг проводили згідно з ГОСТ 1497 [5] на випробувальній машині «Instron». Випробування на ударний згин проводили згідно з ГОСТ 9454 [6] на маятниковому копрі PSW-5. Твердість вивчали за допомогою твердоміра ТБ 5004 за вимогами ГОСТ 9012 [7].

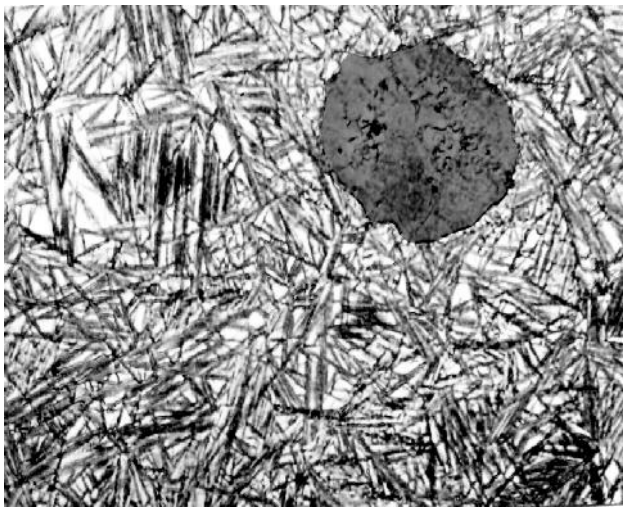
Математичну обробку даних лабораторних та промислових експериментів здійснювали із застосуванням програми «Microsoft Excel 2003» з наступним зображенням ліній тренду. Визначення довірчих границь похибки результатів вимірювань здійснювали за вимогами ДСТУ ГОСТ 8.381:2008 [8].

Апроксимацію експериментальних даних проводили за допомогою програмного забезпечення Curve Expert із побудовою полінома відповідного ступеня або тригонометричної функції.

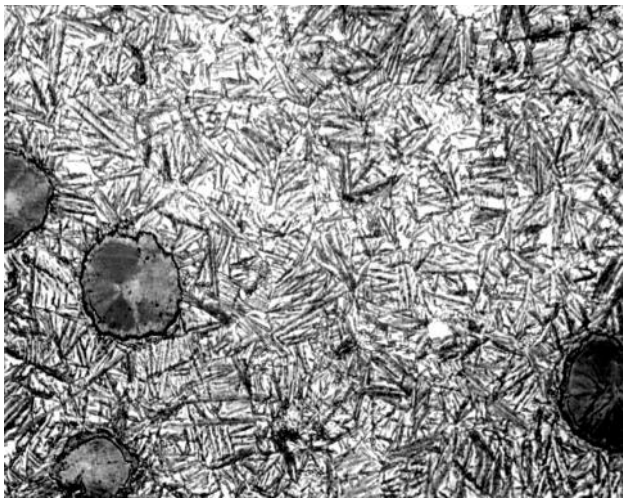
Одержані залежності піддавали аналізу з точки зору визначеності функції в аналізованому інтервалі зміни аргументу. Подальший аналіз моделі щодо наявності екстремальних точок і точок перегинів кривих залежностей проводили із застосуванням програми MathCAD 14 із відтворенням відповідних функцій за одержаними коефіцієнтами рівняння регресії [9; 10].

Результати. Вивчаючи вплив температури ізотермічної витримки на формування мікроструктури металевої матриці та механічних властивостей, зразки із ЧКГ аустенітизували за температури 900 ºС. Після цього зразки занурювали у сольову ванну з температурами 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420 °С для аустемперингу з витримкою 120 хвилин у всіх випадках. Мікроструктурним аналізом було встановлено (рис. 1 а – в), що в інтервалі температур дослідження 260…420 °С в металевій матриці БЧКГ формуються бейнітні структури різної морфології. За низьких температурах зафіксовані голчасті структури з високою твердістю (до 490 НВ), що свідчить про формування в цьому термічному інтервалі (260…300 °С) структури нижній бейніт з її типовою голчастою мартенситоподібною морфологією (рис. 1 а). За високих температур (380…420 °С) спостерігали структури із лінзоподібною формою бейнітних платівок з невисокою твердістю 260…280 НВ, що закономірно пов’язано із формуванням верхнього бейніту у матриці БЧКГ (рис. 1 в). У перехідному інтервалі температур 300…360 ºС наявні змішані бейнітні структури (рис. 1 б).

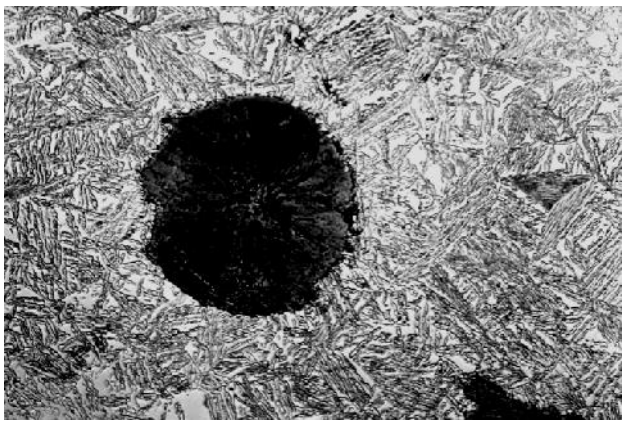
Дані механічних випробувань відповідних зразків БЧКГ наведено на рисунках 2, 3, 4. Як видно з рис. 2, тимчасовий опір руйнуванню, інтенсивно знижується від 1 534 МПа за 260 °С до 984 МПа за 360 °С, тобто більше ніж у 1,5 раза. Далі інтервалі 360…420 °С ця характеристика практично стабілізується і залишається на рівні 984…953 МПа.



а



б



в

Рис. 1. Мікроструктура бейнітної матриці чавуну з кулястим графітом після аустемперингу за 280 °С (а ×500), 320 °С (б ×250), 420 °С (в ×500)

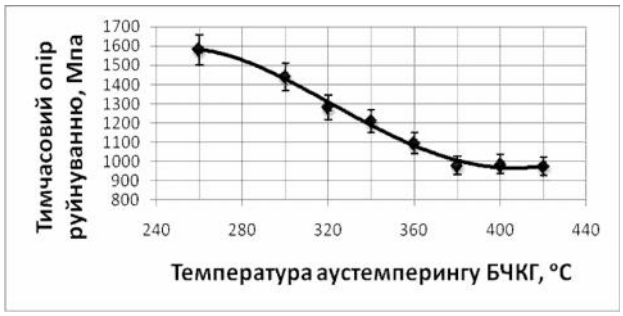


Рис. 2. Залежність тимчасового опору руйнуванню БЧКГ від температури сольового розплаву

Закономірно інакше демонструє свою поведінку відносне видовження (рис. 3). В інтервалі температур 260…380 °С δ_{10} інтенсивно зростає з досягненням величини 7,5 %. Після цього підвищення температури в межах 380…420 °С майже не змінює відносного видовження і залишається на рівні 7,5…8,5 % (рис. 3), подібно до характеру зміни залежності тимчасового опору руйнуванню (рис. 2).

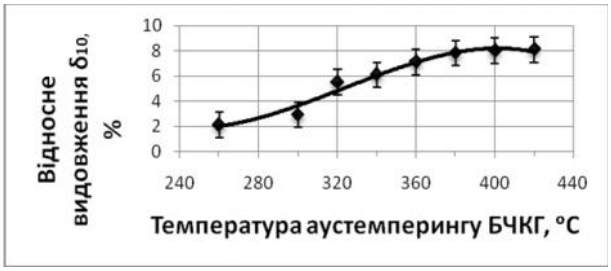


Рис. 3. Залежність відносного видовження БЧКГ від температури сольового розплаву / ADI elongation vs. salt bath temperature

Адекватно до поведінки тимчасового опору руйнуванню, у разі підвищення температури сольового розплаву (аустемперингу) від 260 °С до 320 °С твердість (рис. 4) БЧКГ різко падає практично прямолінійно від 486 НВ (260 °С) до 350 НВ (320 °С).

В інтервалі 320…380 °С зниження твердості (рис. 4) відбувається не так активно. Ця характеристика зменшується дуже повільно (350…329 НВ) і в інтервалі в 60 °С падає всього на 21 НВ, тобто майже у 7 разів повільніше, ніж у попередньому інтервалі (260…320 °С).

Підвищення температури від 380 °С до 420 °С зумовлює повернення прямолінійного характеру падіння твердості (рис. 4) від 329 НВ до 241 НВ із формуванням типової структури верхній бейніт (рис. 1 в).

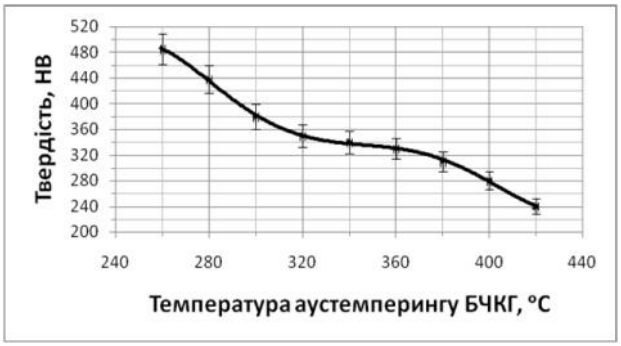


Рис. 4. Залежність твердості БЧКГ від температури сольового розплаву

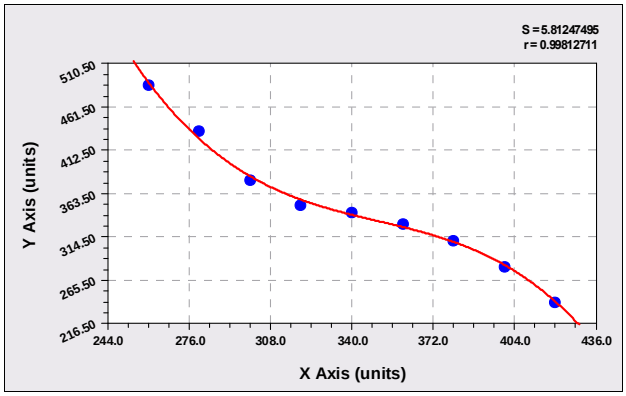


Рис. 5. Графічне зображення функціональної залежності експериментальних даних твердості БЧКГ (Y-axis) від температури аустемперингу (X-axis), побудованої із застосуванням програми Curve Expert

Подальший розгляд функції залежності твердості від температури аустемперингу (рис. 4) проводили за допомогою апроксимації експериментальних даних із застосуванням програми Curve Expert з аналізом моделі з точки зору пошуку екстремальних точок та точок перегину за програмою MathCAD 14 (рис. 5).

3rd degree Polynomial Fit: $y = a + bx + cx\wedge 2 + dx\wedge 3$...

Coefficient Data:

$a =$ 6,14246028350E+003

$b =$ 4,84097046330E+001

$c =$ 1,36285924483E-001

$d =$ 1,29712080911E-004

r – коефіцієнт кореляції (0,9981).

За одержаними коефіцієнтами рівняння регресії відтворюється функція залежності твердості від температури:

$B(t) = 6143 - 48{,}1 \cdot t + 1{,}36 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 1{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot t^3$,

для t: = 260, 280…420.

Графічне відображення функції залежності твердості БЧКГ від температури аустемперингу наведено на рисунку 6.

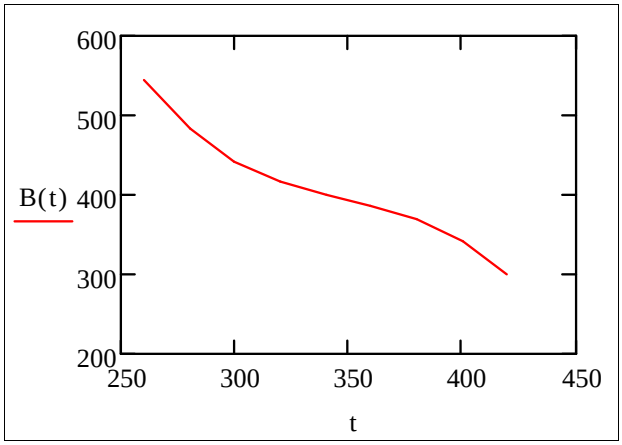


Рис. 6. Графічне зображення функціональної залежності твердості БЧКГ «B(t)» від температури аустемперингу «t», відтвореної за коефіцієнтами рівняння регресії, одержаними за програмою MathCAD 14

На заданому інтервалі температур визначаються значення першої та другої похідних:

HB(t) = B(t):

$$\frac{d}{dt}B(t) \rightarrow \begin{pmatrix} -3.744 \\ -2.516 \\ -1.6 \\ -0.996 \\ -0.704 \\ -0.724 \\ -1.056 \\ -1.7 \\ -2.656 \end{pmatrix}$$

Зміна знака першої похідної у дослідженому інтервалі не відбувається, тобто залежність, що аналізується, монотонна і екстремальних точок не має.

$$\frac{d^2}{dt^2}B(t) \rightarrow \begin{pmatrix} 0.0692 \\ 0.0536 \\ 0.038 \\ 0.0224 \\ 0.0068 \\ -0.0088 \\ -0.0244 \\ -0.04 \\ -0.0556 \end{pmatrix}$$

Зафіксована зміна знака у другій похідній, що свідчить про наявність точок перегину:

$$Y(t) := \frac{d^2}{dt^2} B(t)$$

t: = 340

Використовуючи оператор «Root», визначали точний розмір аргументу у точці перегину:

soln : = root (Y(t), t); soln = 348,718.

Тобто точне значення аргументу в точці перегину встановлене як:

$T_{аустемп.}$ = 348,718 ºС.

Таким чином, математична обробка функціональної залежності твердості від температури аустемперингу визначає наявність точки перегину відповідного полінома та її положення як $T_{аустемп.}$ ~349 º С із коефіцієнтом кореляції поліноміальної моделі 0,998.

Установлені в статті кількісні значення температурних інтервалів структуроутворення бейнітної матриці БЧКГ та відповідної поведінки властивостей виробів із них, дозволяють прогнозно призначати промислові режими термічного зміцнення для деталей із специфічними умовами експлуатації**.**

Висновки.

1. У роботі визначені температурні інтервали формування бейнітних структур металевої матриці БЧКГ: нижній бейніт (260…280 °С), змішана бейнітна структура (300…360 °С), верхній бейніт (360…420 °С).

2. Дослідження механічних властивостей БЧКГ продемонструвало інтенсивне монотонне зниження тимчасового опору руйнуванню в дослідженому інтервалі температур, закономірно протилежне за напрямком але ідентичне щодо поведінки підвищення пластичних властивостей та ступінчастий відповідно до структурного стану характер зміни твердості.

3. Математична обробка функціональної залежності твердості від температури аустемперингу визначає наявність точки перегину відповідного поліному та її положення як $T_{аустемп.}$ ~349 ºС з коефіцієнтом кореляції поліноміальної моделі 0,998.

4. Обчислені кількісні значення температурних інтервалів структуроутворення бейнітної матриці БЧКГ та відповідної поведінки властивостей виробів з них, дозволяють прогнозно призначати промислові режими термічного зміцнення для деталей із специфічними умовами експлуатації.

Автор висловлює подяку к. т. н., доценту кафедри матеріалознавства НМетАУ С. С. Петрову за допомогу у постановці та проведенні математичної обробки експериментальних даних.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3925 – 99. Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. – [Введ. 2000–07–01]. – Київ : Держ. ком. стандартизації, метрології та сертифікації України, 1999. – 25 с. – Режим доступу: http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=1054&pgrp=1063&lstdssu=1065
2. Влияние температуры изотермической выдержки при аустемперинге на механические свойства высокопрочного чугуна / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Дементьева [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. / НАН Украины , Ин-т чер. металлургии им. З. И. Некрасова. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 18. – С. 175-178.– Режим доступа: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62720
3. ГОСТ 5639 – 82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Введ. 1983–01–01. – Москва : Гос. стандарт СССР, 1982. – 38 с.– Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
4. ГОСТ 3443 – 87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры. – Введ. 1988–07–01. – Москва : Гос. стандарт СССР, 1987. – 43 с. – Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
5. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – Введ. 1986–01–01. – Изд. офиц. – Москва : Гос. стандарт СССР, 1985. – 23 с. – Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
6. ГОСТ 9454 – 78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – Введ**.** 1979–01–01. – Москва : Гос. комиздат, 1980. – 11 с. – Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
7. ГОСТ 9012 – 59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – Введ. 1960–01–01. – Москва : Гос. комитет СССР по стандартам, 1960. – 40 с. – Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml

8. ДСТУ ГОСТ 8.381:2008. ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешности. Введ. 2008–10–01. – К. : Госпотребстандарт, 2008. – 11 с. Режим доступа: http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=237&pgrp
9. Дэниел Н. Применение статистики в промышленном эксперименте / Н. Дэниел. – Москва : Мир, 1979. – 299 с. – Режим доступа: http://www.twirpx.com/file/604320/
10. Карташев А. П. Математический анализ / А. П. Карташев, Б. Л. Рождественский. – Москва : Наука, 1984. – 448 с. – Режим доступа: http://www.mate.oglib.ru/bgl/3247.html
11. Курдюмов Г. В. Превращения в железе и стали / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин. – Москва : Наука, 1977. – 236 с.– Режим доступа: http://www.twirpx.com/file/1051184/
12. Промышленное освоение технологии аустемперинга чугунов с шаровидным графитом на предприятии «А. Стаки-Рейл» / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Дементьева [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 79-81. – Режим доступа: http://www.metaljournal.com.ua/mgp-04-2006/
13. Нестеренко А. М. Рентгеноструктурный анализ бейнитной структуры чугунов с шаровидным графитом после аустемперинга в интервале температур сдвигово-диффузионного превращения / А. М. Нестеренко, К. И. Узлов, А. Н. Хулин // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 22. – С. 178 – 189. – Режим доступа: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62417
14. Elliott , R. Cast Iron Technology / R. Elliott. - London, Boston, Singapore, SydneyToronto, Wellington : Butterworths, 1988. – 244 p. – Режим доступа: http://trove.nla.gov.au/work/13611346?selectedversion=NBD5646233
15. Takahashi M. A Model for Transition from Upper to Lower Bainite / M. Takahashi, H. K. D. H. Bhadeshia // Mat. Sci. and Tech. – 1990. – Vol. 6, № 7. – P. 592-603. – Режим доступа: http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/mst.1990.6.7.592

REFERENCES

1. DSTU3925–99. *Chavun z kuliastymy grafitom dlia vylyvky. Marky* [GOST 3925 – 99. Spheroidal graphite iron for casting.Grades]. Derzhavnyi komitet standartyzatsii, metrologii ta sertyfikatsii−The State Committee for Standardization, Metrology and Certification . Kyiv, 1999, 25 p. (in Ukrainian). Available at: http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=1054&pgrp=1063&lstdssu=1065
2. Uzlov K. I., Hulin A. N., Dementeva Zh. A. *Vliyanie temperaturyi izotermicheskoy vyiderzhki pri austemperinge na mehanicheskie svoystva vyisokoprochnogo chuguna* [Influence of austempering isothermal tempering temperature on mechanical properties of ductile iron]. *Fundamentalnyie i prikladnyie problemyi chernoy metallurgii* - Fundamental and applied problems of the steel industry. *Sbornik nauchnykh trudov* −Collection of scientific papers. Kiev, 2008, pp. 175-178. (in Russian). Available at: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62720
3. *GOST 5639 – 82. Stali i splavy. Metody vyyavleniya iopredeleniya velichiny zerna* [GOST 5639 – 82. Steel and alloys. Methods for detection and determination of grain size]. Moskow, Gosstandart, 1982. 38 p. (in Russian). Available at: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
4. *GOST 3443 – 87. Otlivki iz chuguna s razlichnoy formoy grafita.Metody opredeleniya struktury* [GOST 3443 – 87. Cast iron castings with graphite of different form. Methods of structure determination]. Moscow, Gosstandart, 1987. 43 p. (in Russian). Available at: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
5. *GOST 1497 – 84. Metaly. Metody ispytany na rastyazhenie [GOST 1497 – 84Metals. Methods of tension test]* Moscow, Gosstandart, 1985. 23 p. (in Russian). Available at: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
6. *GOST 9454 – 78. Metaly. Metod ispytaniya na udarny izgib pri ponizhenii komnatnoy i povyshenyh temperatur* [GOST 1497 – 78. Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature]. Moscow, Gosstandart, 1980. 11 p. (in Russian). Available at: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
7. *GOST 9012 – 59 Metaly. Metod izmereniya tverdosi po Brinelyu* [GOST 1497 – 59. Metals. Method of Brinell hardness measurement]. Moscow, Gosstandart, 1960. 40 p. (in Russian). Available at: http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml
8. *DSTU GOST 8.381:2008. Etalony. Sposoby vyrazheniya pogreshnosti* [GOST 1497 – 78.Standards. The ways of expressing the errors]. Kyiv, Gospotrebstandart, 2008. 11 p. (in Russian). Available at: http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=237&pgrp=238&lstdssu=238
9. Deniel N. Deniel N. *Primenenie statistiki v promyishlennom eksperimente* [Application of statistics in industrial experiment] Moscow, Mir, 1979. 299 p. (in Russian). Available at: http://www.twirpx.com/file/604320/
10. Kartashev A. P. Rozhdestvenskiy B. L. *Matematicheskiy analiz* [Mathematical analysis]. Moscow, Nauka, 1984. 448 p. (in Russian) Available at: http://www.mate.oglib.ru/bgl/3247.html
11. Kurdyumov G. V., Utevskiy L. M., Entin R. I. *Prevrascheniya v zheleze i stali* [Transformations in iron and steel]. Moscow, Nauka, 1977. 236 p. (in Russian). Available at: http://www.twirpx.com/file/1051184/
12. Uzlov K. I., Hulin A. N., Dementeva Zh. A. *Promyishlennoe osvoenie tehnologii austemperinga chugunov s sharovidnyim grafitom na predpriyatii* [Industrial mastering of technology of cast-irons with spherical graphite on the enterprise] *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost* -Metallurgical and Mining Industry, 2006, no. 4, pp. 79-81. (in Russian). Available at: http://www.metaljournal.com.ua/mgp-04-2006/

13. Nesterenko A. M., Uzlov K. I., Hulin A. N. Nesterenko A. M., Uzlov K. I., Hulin A. N. *Rentgenostrukturnyiy analiz beynitnoy strukturyi chugunov s sharovidnyim grafitom posle austemperinga v intervale temperatur sdvigovo – diffuzionnogo prevrascheniya* [X–ray analysis of ADI bainitic matrix after austempering in shear – diffusion transformation temperature interval]. *Fundamentalnyie i prikladnyie problemyi chernoy metallurgii* - Fundamental and applied problems of the steel industry. *Sbornik nauchnykh trudov* - Collection of scientific papers. Dnipropetrovs'k, ISI NASU Ukraine, 2010, no.22, pp. 178-189. (in Russian).
Available at: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62417
14. Elliott R. Cast Iron Technology. London, Boston, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington. Butterworths, 1988. 244 p.Available at: http://trove.nla.gov.au/work/13611346?selectedversion=NBD5646233
15. Takahashi M., Bhadeshia H. K. D. H. A Model for Transition from Upper to Lower Bainite. Mat. Sci. and Tech., 1990. Vol. 6, pp. 592-603. Available at: http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/mst.1990.6.7.592

УДК 624.15

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ СУПЕРЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ «ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ – БУДІВЛЯ»

САХАРОВ В. О.[*], *к. т. н, доцент,*
[*] Кафедра основ і фундаментів, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 275-85-71, e-mail: vladland@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9381-3283

Анотація. ***Постановка проблеми.*** В сучасних умовах оцінка динамічної поведінки будівель і споруд проводиться на базі чисельного моделювання. Складність і трудомісткість розв'язку задач динаміки спонукає шукати шляхи обґрунтованого спрощення моделей та залучення передових алгоритмів із використанням сучасних комп'ютерних технологій. Для багатьох будівель характерним є наявність конструктивних структурних елементів, які багаторазово повторюються (наприклад типові поверхи). Цю властивість доцільно використовувати для підвищення ефективності чисельних методів за рахунок редукції системи рівнянь, яка також повинна задовольняти вимогам прямих методів інтегрування. Сучасні методи та комп'ютерні засоби дозволяють проводити розрахунки задач динаміки з урахуванням нелінійного деформування середовищ. Такі задачі мають систему рівнянь з мільйонами невідомих і потребують значних ресурсів та часу розрахунку. Для зменшення порядку систем рівнянь найчастіше використовуються методи динамічної редукції (наприклад редукції Гайана) або методи розв'язку підконструкцій. В роботі Ray W. Clough зазначається, що динамічні властивості СЕМ мають більш високий рівень апроксимації, ніж механічні. Для будівель і споруд найбільш зручно застосовувати метод підконструкцій з представленням переміщень через власні форми, запропонований Крейгом-Бемптоном (Craig Jr. R.R., Bampton M.) та ін. авторами. Проте запропоновані варіанти призводять до недіагональних матриць мас і обмежують ефективне використання явних схем інтегрування. ***Мета.*** В роботі запропоновано реалізацію методики розв'язку задач динаміки високого порядку на базі явних методів із використанням спектральних суперелементів для виділених підконструкцій. Застосування такого підходу дозволяє зменшити порядок системи алгебраїчних рівнянь та проводити динамічний, в т.ч. сейсмічний аналіз будівель і споруд з урахуванням нелінійного деформування ґрунтів основи. ***Висновок.*** В роботі представлено методику використання суперелементної технології розв'язку задач динаміки для дослідження взаємодії будівель з основою. На базі підходу Крейга-Бемптона запропоновано варіант отримання матриці редукції для розробленого суперементу спектрального (SES) для прийнятої підконструкції, що забезпечує збереження діагональної матриці мас, і дозволяє використовувати ефективні явні методи інтегрування. Приведені результати дослідження взаємодії будівлі з нелінійною ґрунтовою основою при дії сейсмічних навантажень. Показано, що використання спектральних суперелементів (SES) забезпечило зменшення порядку системи рівнянь більш ніж в 2,8 рази, при збереженні необхідної точності результатів розрахунку. Представлена методика розв'язку динамічних задач із використанням запропонованих спектральних суперелементів (SES) дозволяє суттєво зменшити порядок системи рівнянь задач і дозволяє проводити дослідження динамічної поведінки будівель і споруд в складі системи «основа – фундамент – будівля» з урахуванням нелінійного деформування ґрунтів основи на базі явних схем чисельного інтегрування.

Ключові слова: *метод скінченних елементів, явний метод, спектральний суперелемент, АСНД «VESNA-DYN», багатоповерхові будинки, система «основа – фундамент – будівля».*

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СУПЕРЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ - ФУНДАМЕНТ – ЗДАНИЕ»

САХАРОВ В. А.[*], *к. т. н, доцент,*
[*] Кафедра оснований и фундаментов, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский,. 31, Киев, 03146, Украина, тел. +38 (044) 275-85-71, e-mail: vladland@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9381-3283

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** В современных условиях оценка динамического поведения зданий и сооружений проводится на базе численного моделирования. Сложность и трудоемкость решения задач динамики побуждает искать пути обоснованного упрощения моделей, а также привлечения передовых алгоритмов с использованием современных компьютерных технологий. Для многих зданий характерно наличие конструктивных элементов, которые многократно повторяются (например, типовые этажи). Это свойство целесообразно использовать для повышения эффективности численных методов за счет редукции системы уравнений, которая при этом также должна удовлетворять требованиям явных методов интегрирования.

Современные методы и компьютерные средства позволяют проводить расчеты задач динамики с учетом нелинейного деформирования сред. Такие задачи имеют систему уравнений с миллионами неизвестных и требуют значительных ресурсов и времени расчета. Для уменьшения порядка систем уравнений чаще всего используются методы динамической редукции (например редукции Гайана) или методы с использованием подконструкций. В работах Ray W. Clough отмечается, что динамические свойства КЭМ имеют более высокий уровень аппроксимации, чем механические. Для зданий и сооружений наиболее целесообразно применять метод подконструкций с представлением перемещений через собственные формы, предложенный Крейгом-Бемптоном (Craig Jr. RR, Bampton M.) и др авторами. Однако существующие варианты приводят к недиагональным матрицам масс и ограничивают использование эффективных явных схем интегрирования. ***Цель.*** В работе предложено реализация метода решении задач динамики высокого порядка на базе явных методов с использованием спектральных суперелементов для выделенных подконструкций. Применение такого подхода позволяет уменьшить порядок системы уравнений и проводить динамический, в т.ч. сейсмический анализ поведения зданий с учетом нелинейного деформирования грунтов. ***Выводы.*** В работе представлена методика использования суперэлементной технологии решении задач динамики для исследования взаимодействия зданий с основанием. На базе подхода Крейга-Бемптона предложен вариант получения матрицы редукции разработанного суперэлемента спектрального (SES) для принятой подконструкции, что обеспечивает сохранение диагональной матрицы масс, и позволяет использовать эффективные явные методы интегрирования. Приведены результаты исследования взаимодействия здания с нелинейным грунтовым основанием при действии сейсмических нагрузок. Показано, что использование SES суперэлементов обеспечило уменьшение порядка системы уравнений более чем в 2,8 раза, при сохранении необходимой точности результатов расчета. Представленная методика расчета динамических задач с использованием SES суперэлементов позволяет существенно уменьшить порядок системы уравнений задач и позволяет проводить исследования динамического поведения зданий и сооружений в составе системы «основание – фундамент – здание» с учетом нелинейного деформирования грунтов основания на базе явных схем численного интегрирования.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, явный метод, спектральный суперэлемент, АСНИ «VESNA-DYN», многоэтажные здания, система «основание – фундамент – здание".*

USE OF SPECTRAL SUPERELEMENTS IN DYNAMIC ANALYSIS OF “SOIL BASE - FOUNDATION - BUILDING” SYSTEMS

SAKHAROV V. O.[*] , *Ass. Prof., PhD.*
[*] Base and foundation department. Kyiv National University Construction and Architecture (KNUCA). 31, Povitroflotskiy avenue, Kyiv, 03680, Ukraine, tel: +38 (044) 275-85-71, e-mail: vladland@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9381-3283

Summary. ***Problem statement .*** Modern analysis of the dynamic conduct of constructions and structures relies on numerical modeling. The difficulty and complexity of dynamic problem solving encourages model simplification and the use of more advanced numerical modeling algorithms. Many buildings are characterized by the presence of repetitive structural elements (e.g. typical floors). This feature can be used to improve the efficiency of numerical methods by reducing the size of the equation system while meeting the requirements of direct integration methods. ***Purpose.*** The paper presents the theory and practical implementation of an improved technique for solving high-order dynamic problems using explicit methods and the help of spectral super-elements for selected substructures. This approach can reduce the order of the algebraic system and conduct dynamic (and thus - seismic) analysis of buildings and structures while taking into account nonlinear deformations of the soil foundation. ***Analysis of recent research***. Modern methods and computer tools allow analysis of dynamic problems while taking into account nonlinear deformations. Such problems have systems of equations with millions of variables and require significant computational resources and time. To reduce the order of the system, commonly used approaches include dynamic reduction methods (e.g. Guyan reduction) or methods relying on reduced-order substructural models. In particular, a paper by Ray W. Clough suggests that the dynamic properties of FE have a higher level of approximation than mechanical properties. For buildings and structures, it is usually most convenient to use substructural models relying on eigenform-based motion representation, as proposed by Craig Jr. R.R., Bampton M. and other authors. However, the proposed options lead to a non-diagonal mass matrix and limit the effective use of explicit integration schemes. ***Results.*** The paper describes a method of use of superelement technology of solving tasks of dynamic for investigation of the interaction of buildings with the soil base. On the base Craig-Bempton approach, variant of getting reduction matrix for developed superelement of spectral is offered for taken subconstruction which is providing preservation diagonal mass matrix and allows the use of efficient explicit integration methods. The results of the study of a building interaction with a non-linear soil base under active seismic load are shown. Use an actual construction as an example, it is shown that the use

of spectral superelements reduced of the order of the equation system by a factor of more than 2.8 while maintaining the required accuracy of the calculation. **Conclusion.** The described method of solving dynamic problems, using the proposed spectral superelements, significantly reduces the order of the equation system while still allowing the use of explicit numerical integration schemes. This allows the more efficient dynamic analysis of the behavior of the "soil base - foundation - building" system.

Keywords: *finite element method, explicit method, spectral superelements, ASSR "VESNA-DYN", high-rise buildings, "soil base – foundation – building" system.*

Постановка проблеми. В сучасних умовах для оцінки сейсмічного впливу дослідження динамічної поведінки несучих конструкцій будівель і споруд,в першу чергу, проводиться засобами чисельного моделювання. Ґрунтова основа відіграє значну роль у формуванні напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій і має нелінійно виражений характер деформування. При оцінці сейсмічного впливу найбільш повну інформацію можна отримати тільки методами прямого інтегрування в часі, що потребує значних розрахункових ресурсів. Складність і трудомісткість розв'язку задач динаміки прямими методами спонукає шукати шляхи підвищення ефективності чисельних методів за рахунок обґрунтованого спрощення моделей та залучення передових алгоритмів із використанням сучасних комп'ютерних технологій. До найбільш поширеного напряму спрощення можна віднести динамічну редукцію систем рівнянь МСЕ, яка полягає в суттєвому зменшенні порядку системи рівнянь внаслідок скорочення динамічних ступенів свободи.

Для багатьох будівельних споруд характерним є наявність структурних елементів, які багаторазово повторюються (наприклад типові поверхи). Максимально врахувати конструктивні особливості будівель та пом'якшити умови ефективного використання методів розв'язання задач динаміки дозволяє підхід, що будується на декомпозиції системи з виділенням підконструкцій, які часто зустрічаються, або мають однорідні властивості. Скінченно-елементні моделі підконструкцій – суперелементи будують незалежно з формулюванням контактних умов для спільної роботи в складі досліджуваної конструкції. Це дає змогу застосовувати найбільш ефективні для відповідних суперелементів методи і завдяки такому комбінованому підходу значно покращити ефективність розрахунків в цілому.

В даній роботі основна увага приділена застосуванню динамічних суперелементів. Це обумовлено тим, що поряд із звичайним призначенням – редукції системи рівнянь підконструкції, – розроблені суперелементи повинні виконувати і іншу важливу роль. Вони повинні забезпечувати збереження діагональної структуру вихідної матриці СЕМ після її редукції. Це дає змогу ефективного використання явних схем інтегрування динамічних рівнянь.

Слід відзначити, що найбільше розповсюдження метод суперелементів отримав в статичних задачах і значно менше – в задачах динаміки. Пояснюється це тим, що при формуванні статичного суперелементу в межах підконструкції вдається виключити велику кількість (внутрішніх) невідомих вузлових переміщень, залишаючи тільки (зовнішні) переміщення, які відносяться до вузлів контакту суперелементу з іншими елементами скінченно-елементної моделі (СЕМ). Для цього використовується методика статичної конденсації всіх внутрішніх ступенів свободи. Інші умови виникають при формуванні динамічного суперелементу, коли крім зовнішніх ступенів свободи – переміщень зовнішніх вузлів необхідно залишати достатню кількість внутрішніх динамічних ступенів свободи, які з необхідною точністю повинні зберегти основні динамічні властивості досліджуваних систем. Це призводить до зниження ефективності застосування суперелементів в задачах динаміки і не завжди виправдовується ускладнення відповідних алгоритмів і програм, особливо у випадку нелінійної постановки задач.

Аналіз публікацій. Сучасні комп'ютерні засоби та передові методики моделювання дозволяють проводити детальне дослідження поведінки будівлі з основою з урахуванням нелінійного деформування конструкцій та ґрунтів [12, 5]. Проте, такі задачі мають систему рівнянь з мільйонами невідомих, потребують значних ресурсів та часу розрахунку, що не завжди може бути застосовано для інженерних досліджень. Зменшення порядку систем рівнянь найчастіше проводиться по двом напрямкам – методом динамічної редукції та методом розв'язку підконструкцій. Останній, для геотехнічних задач, передбачає виділення в окремі частини ґрунтового масиву із фундаментами, або надземні конструкції з метою більш детального дослідження нелінійної поведінки матеріалів [9]. При взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля» нелінійні властивості основи в значній мірі визначають НДС будівлі, її осідання та ін.. Крім того властивості нашарування ґрунтів можуть значно відрізнятись між собою. Для надземних конструкцій зручно застосовувати методи редукції шляхом представлення переміщень через власні форми. Багаторічна практика показала, що далеко не всі власні форми коливань необхідні для відображення реальних динамічних процесів (включаючи сейсміку), що знайшло відображення в нормах [2]. При цьому варто враховувати, що власні форми верхньої частини спектру мають найбільші похибки, пов'язані з дискретизацією континуальних середовищ, і їх використання не завжди сприятиме підвищенню точності рішень задач динаміки. В монографії [3] відомих спеціалістів США по розробці і застосуванню МСЕ в задачах динаміки та сейсмостійкості споруд звернуто увагу на те, що динамічні властивості СЕМ мають більш високий рівень апроксимації, ніж механічні, і при розв'язанні задач динаміки доцільно притримуватись емпіричного правила «динамічний аналіз може виконуватись ефективно, якщо спочатку розроблено модель конструкції для аналізу статичних напружень, а потім суттєво скорочено число ступенів свободи перед виконанням динамічного аналізу».

Побудові суперелементів, що забезпечують діагональну матрицю мас, задовольняє методика редукції на основі статичної конденсації з вибором базисних вузлів, в яких зосереджується вся маса. До недоліків такої методики слід віднести неоднозначність вибору динамічних ступенів свободи та відсутність критеріїв відносно способів заміни розподіленої маси зосередженими масами для забезпечення необхідної точності результатів, що в цілому потребує від проектувальника достатнього інженерного досвіду та інтуїції. Для більш обґрунтованого варіанту редукції можна застосовувати суперелементи, що базуються на динамічній редукції Гайана [1], або на залученні методу нормальних координат Крейга-Бэмптона (будемо їх називати суперелементами спектральними (SES)) [4, 8]. Проте запропоновані варіанти призводять до недіагональних матриць мас і обмежують ефективне використання явних схем інтегрування.

Мета статті. Метою роботи є створення та реалізація методики розв'язку нелінійних задач динаміки високого порядку на базі явних методів із використанням спектральних суперелементів для виділених підконструкцій. Застосування такого підходу дозволить зменшити порядок системи алгебраїчних рівнянь та проводити динамічний, в т.ч. сейсмічний аналіз будівель і споруд з урахуванням нелінійного деформування ґрунтів основи.

Виклад матеріалу. В даній роботі запропонована методика використання суперелементної технології для дослідження взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля» при сейсмічних навантаженнях з урахуванням нелінійних властивостей основи. Практика показала, що найбільш ефективними з точки зору застосування явних методів є суперелементи, побудовані на власних формах коливань підконструкцій з діагональною матрицею мас. В основі

побудови суперелементу лежить метод нормальних координат Крейга-Бэмптона, коли редукція проводиться шляхом використання неповного набору власних форм підконструкції.

Розглянемо основні етапи формування співвідношень суперелементів для будь якої заданої підконструкції. Для зручності, вузли, по яким відбувається контакт підконструкції з іншими частинами загальної конструкції, будемо називати зовнішніми (рис. 1), а елементи, які мають в своєму складі хоч один зовнішній вузол – зовнішніми елементами. Вузли та елементи, що залишились в підконструкції, будемо відносити до внутрішніх. У варіанті [4]

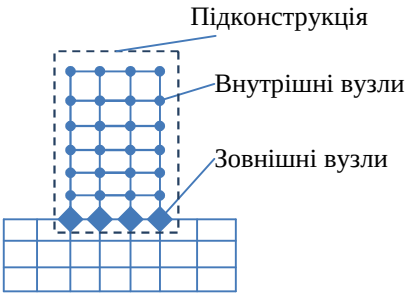


Рис. 1. Виділення зовнішніх та внутрішніх вузлів суперелементу для прийнятої підконструкції

матриця редукції $[S]$ формується методом нормальних координат із власних форм підконструкції для внутрішніх вузлів та методом статичної конденсації для зовнішніх вузлів. Для цього спочатку визначаються і нормуються власні форми підконструкції при закріпленні зовнішніх вузлах $[R_{ii}]$. Далі матриця $[S]$ доповнюється переміщеннями від одиничних переміщень зовнішніх вузлів $[X_{ei}]$:

$$[S]^T = \begin{bmatrix} [R_{ii}] & 0 \\ [X_{ei}] & [E_{ee}] \end{bmatrix} \qquad (1)$$

де $[R_{ii}]$ – набір векторів-рядків нормованих власних форм підконструкції для внутрішніх вузлів, $[X_{ei}]$ – переміщення внутрішніх вузлів при одиничних зміщеннях зовнішніх, $[E_{ee}]$ – одинична матриця, порядок якої дорівнює кількості зовнішніх переміщень.

Проте, на етапі формування редукованої матриці мас $[\tilde{M}]$ на основі (1):

$$[\tilde{M}] = [S]^T[M][S] \qquad (2)$$

виникає «обрамлена» матриця мас, що не дозволяє ефективно використовувати явні схеми інтегрування.

В запропонованому варіанті передбачається, що матриці мас зовнішніх елементів підконструкції мають діагональну структуру, а матриця редукції $[S]$ має вигляд:

$$[S] = \begin{bmatrix} [R_{ii}] & 0 \\ 0 & [E_{ee}] \end{bmatrix} \qquad (3)$$

де $[R_{ii}]$ – набір векторів-рядків нормованих власних форм підконструкції для внутрішніх вузлів, отриманих при можливості зміни жорсткості зовнішніх елементів від заданої величини до нуля. При цьому, коли жорсткість зовнішніх елементів не дорівнює нулю, матриця $[R_i]$ доповнюється рядками векторів жорстких зміщень внутрішніх вузлів; $[E_{ee}]$ – одинична матриця. Ніяких обмежень (крім симетрії) на структуру матриць мас внутрішніх елементів не накладається, і для них можна використовувати «погоджені» недіагональні матриці. Слід зазначити, що для зовнішніх елементів, які складають невелику частину підконструкцій, вказана умова може бути задовільнена шляхом застосування для них різних методик переходу від розподілених до зосереджених мас, в тому числі за рахунок використання погоджених за апроксимацією діагональних матриць мас.

Процес формування спектрального суперелементу зводиться до наступної послідовності дій:

1. Визначаються зовнішні та внутрішні переміщення і зовнішні та внутрішні елементи підконструкції.

2. Вузлові переміщення нумеруються по порядку – спочатку всі n_i внутрішніх, а потім n_e зовнішніх.

3. Формується матриця мас СЕМ підконструкції:

$$[M]_{CON} = \begin{bmatrix} [M_{ii}]_{n_i \times n_i} & [0] \\ [0] & [M_{ee}]_{n_e \times n_e} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

де $[M_{ii}]$ – позитивно визначена симетрична матриця мас внутрішніх переміщень;

$[M_{ee}]$ – діагональна матриця переміщень зовнішніх вузлів,

4. Матриці жорсткості зовнішніх елементів множаться на коефіцієнт k_z, який може приймати значення $0 \le k_z \le 1$ і формується відкоригована матриця жорсткості СЕМ підконструкції.

$$[\bar{K}]_{CON} = \begin{bmatrix} [\bar{K}_{ii}][K_{ie}] \\ [K_{ei}][K_{ee}] \end{bmatrix} \quad (5)$$

Коефіцієнт k_z вибирається в залежності від особливостей взаємодії підконструкції з іншими частинами СЕМ. Наприклад, якщо формується SES достатньо жорсткої будівлі, що контактує з піддатливою ґрунтовою основою, то k_z доцільно прийняти рівним нулю, оскільки основа мало впливає на основні форми коливань будівлі. У випадку скальної основи k_z може прирівнюватися до одиниці. Але треба підкреслити, що вибір k_z не впливає на збіжність рішення задач. Незалежно від значення k_z при збільшенні кількості врахованих форм коливань збільшується точність відображення суперелементом властивостей СЕМ підконструкції і, якщо кількість форм буде рівною кількості внутрішніх ступенів свободи (тобто при відсутності редукції), то суперелемент буде точно відповідати підконструкції. Вдалий вибір k_z може лише скоротити кількість врахованих форм для досягнення необхідної точності результатів.

5. На зовнішні вузли накладаються в’язі і всі зовнішні переміщення прирівнюються нулю. Розв’язується часткова проблема визначення власних частот і форм коливань нижньої частини спектру підконструкції.

$$([\bar{K}_{ii}] - \omega^2[M_{ii}])\{u_i\} = 0 \quad (6)$$

6. При $k_z \ge 0$ до отриманих форм додаються ще шість форм руху внутрішніх елементів, як жорсткого цілого, які ортогоналізуються між собою та формами визначеними раніше. У випадку лінійної залежності відповідна форма відкидається. В цілому отримані форми визначають базис (власні форми) і матрицю редукції для внутрішніх ступенів свободи $[S]$

7. Формується дійсна матриця жорсткості СЕМ $[K]_{CON}$ підконструкції шляхом доповнення раніше сформованої матриці $[\bar{K}]_{CON}$ матрицями жорсткості зовнішніх елементів, помноженими на коефіцієнт $(1 - k_z)$.

$$[K]_{CON} = \begin{bmatrix} [K_{ii}][K_{ie}] \\ [K_{ei}][K_{ee}] \end{bmatrix} \quad (7)$$

8. За допомогою матриці редукції обчислюється матриця жорсткості і матриця мас суперелементу.

$$[K]_{SES} = \begin{bmatrix} [R_{ii}][K_{ii}][R_{ii}]^T[R_{ii}][K_{ie}] \\ [K_{ei}][R_{ii}]^T[K_{ee}] \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[M]_{SES} = \begin{bmatrix} [R_{ii}][M_{ii}][R_{ii}]^T & [0] \\ [0] & [M_{ee}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [E_{ii}] & [0] \\ [0] & [M_{ee}] \end{bmatrix} \quad (9)$$

де $[E_{ii}]$ – одинична матриця, розмірність якої дорівнює кількості внутрішніх вузлів.

Матриця жорсткості спектрального суперелементу є мало заповненою і в реалізованому варіанті зберігається у спеціальному форматі, зручному для застосування економічних алгоритмів виконання дій над матрицями. Матриця мас зберігається у вигляді вектора-діагоналі. Зберігається також матриця редукції $[S]$ для обчислення через узагальнені переміщення суперелементу переміщень внутрішніх вузлів підконструкції.

Запропонована методика була застосована для дослідження варіанту висотного будинку на базі реального об’єкту в сейсмічно-небезпечному районі м. Одеси. Будинок має 24 надземних та 1 підземний поверх паркінгу і являє собою каркасно-монолітну конструкцію.

Інженерно-геологічна ситуація представлена шарами суглинків, глин та вапняку. Сейсмічність території оцінена в 7 балів. Фізико-механічні характеристики ґрунтів основи представлені у таблиці 1.

Будинок запроектовано на пальових фундаментах з бурових паль діаметром 620мм та довжиною 12 м із заведенням підошви в глину тверду ІГЕ-7. Палі об’єднані в ростверки, товщиною 1,5 м, розкріпленими перехресними стрічками, товщиною 0,5 м. Матеріали конструкцій будинків розглядались, як в’язко-пружні тіла. Внутрішні втрати енергії

враховувались по моделі Релея, через декремент коливань, який для інженерних конструкцій приймався δ = 0,3, та для ґрунтів основи δ = 0,6 [2]. Для оцінки реальної поведінки будівель ґрунтовий масив розглядався як об'ємне нелінійно-в'язко-пружно-пластичне тіло з характеристиками у відповідності до нашарування ґрунтів основи. Описання деформування ґрунту при сейсмічному впливі проводилось згідно моделі [6]. Розміри врахованого в розрахунках ґрунтового масиву склали 125×108 м в плані та 56 м по глибині. Для зменшення впливу граничних умов по бічним площинам використані в'язкі опори Лізмера [10].

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики ґрунтів основи

ІГЕ	Назва ґрунту	E_{def}, МПа	ν	ρ, г/см^3	c, МПа	φ, град.	R_{ten}, МПа	e_0	E_v, МПа	μ_v, МПа·с
4	Суглинок твердий	10	0,38	1,95	0,01	13	0,043	0,874	30	1,09
6	Суглинок твердий	21	0,35	1,89	0,025	20	0,067	0,742	105	3,81
7	Глина тверда	20	0,4	1,93	0,035	18	0,108	0,768	100	3,63
8	Вапняк зруйнований	25	0,2	2,00	0,06	30	0,104	0,35	125	605,17
10	Вапняк плитчастий	48	0,18	2,10	0,13	32	0,208	0,3	240	726,20
11	Вапняк ракушняк	50	0,15	2,20	0,14	35	0,200	0,25	250	968,27
12	Глина тверда	19	0,42	1,98	0,053	19	0,154	0,978	95	3,45

Створена СЕМ мала систему алгебраїчних рівнянь з 404 328 невідомими і представлена на рисунку 2. В якості навантаження використано фрагмент реальної акселерограми, розробленої для даного майданчика тривалістю 15 с. Для зменшення порядку невідомих та підвищення швидкості розв'язку в розрахунках були використані запропоновані суперелементи при $k_z = 0$. Конструкції будинку утворюють значну кількість невідомих і мають зручну будову для виділення підконструкцій. Для ефективного проведення редукції як підконструкція була обрана ділянка, обмежена перерізами по вертикальним несучим конструкціям, які показані пунктирною лініями (рис. 2).

У даній роботі надземна частина будинку виділялись у підконструкцію, з якої утворювався суперелемент. Зовнішні вузли SES розташовувались на рівні стін паркінгу (рис. 2). При розрахунку для даної під конструкції було знайдено 390 власних форм, які обмежувались частотою близько 30 Гц, що вважається достатнім для більшості будівель. Побудована таким чином суперконструкція до складу якої входить елементи ґрунту, фундаментів, частин будівлі, що не ввійшли до підконструкції, а також суперелементу будинку налічувала 142 920 невідомих, що забезпечило зменшення порядку системи рівнянь більш ніж в 2,8 рази.

Розрахунки проводились у нелінійній постановці шляхом прямого інтегрування в часі по методу центральних різниць з дискретним кроком по просторовим координатам [7] засобами автоматизованої системи наукових досліджень (АСНД) «VESNA-DYN». Час розрахунку 20 секунд динамічного навантаження (15 с сейсмічної дії та 5 секунд вільних коливань) з використанням ПК на базі процесора IntelCore I7 3.1 ГГц та RAM 16 Гб склав близько 7 годин.

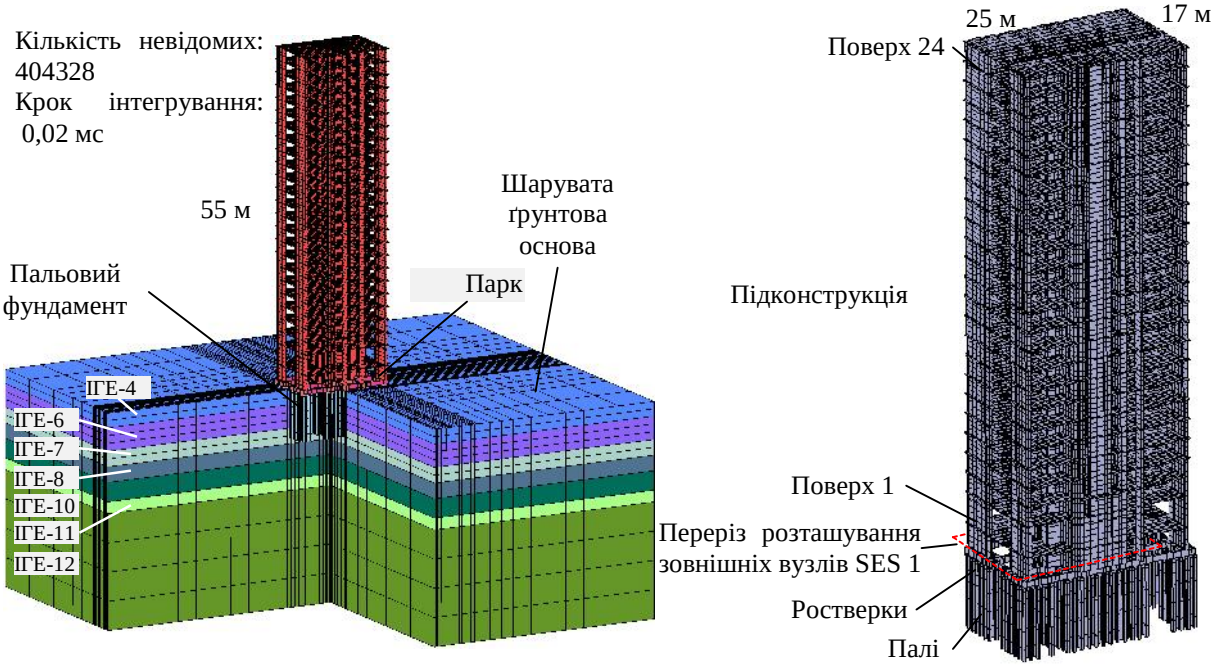


Рис. 2. Скінченно-елементна модель будівель в складі системи «основа – фундамент - будівля»

В результаті розрахунків було отримано, що частота коливань верху будівлі має меншу частоту, ніж ґрунтового масиву із фундаментами (рис. 3, а). Тобто сейсмічне навантаження не входить в резонанс з нижніми частотами будинку. Амплітуда коливань фундаменту в середньому склала близько 1 см в плані. Максимальне відхилення зафіксоване на 12,6 с у напрямку X_2 із значенням -1,9 см. Після закінчення активної фази навантаження (після 15 с) спостерігається швидке згасання коливань. Характер коливань верху будівлі має свої особливості. На більшій частині навантаження амплітуда коливань не перевищувала 2,5 см. Як видно з (рис. 3, а), максимальні відхилення верху будівлі виникають у протифазі із фундаментами. Коли коливання ґрунту згасають, в будівлі виникають максимальні амплітуди до 5 см, які поступово згасають. Вертикальні коливання будівлі не перевищували 5 мм.

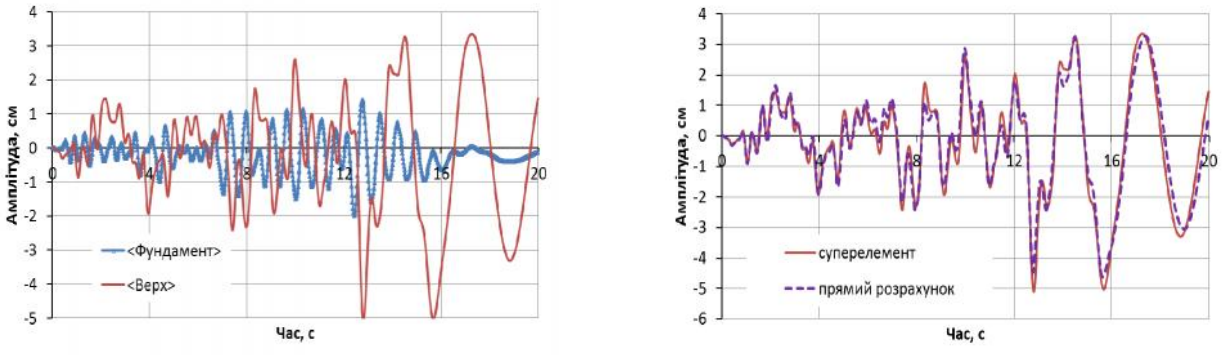


Рис. 3. Коливання будівлі в напрямку X_2 при дії сейсмічних навантажень

Для оцінки точності отриманих результатів з використанням спектральних суперелементів було проведено розрахунок задачі без застосування редукції. Аналіз показав, що результати мають високу збіжність. Як видно на графіку (рис. 3, б),

похибки, переважно, виникають на короткочасних ділянках екстремумів коливань і при максимальних амплітудах не перевищують 12 %. Таким чином, проведені дослідження дозволяють рекомендувати використання суперелементів SES для моделювання динамічної поведінки будівель з ґрунтовою основою в т.ч. з урахуванням нелінійного деформування ґрунтів.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано новий варіант спектральних суперелементів SES, які розроблені на базі методу нормальних координат, враховують особливості граничних умов для виділених підконструкцій, забезпечують діагональність матриці мас суперелементу та дозволяють суттєво зменшити порядок системи рівнянь для задач дослідження динамічної взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля». Для даної задачі порядок системи рівнянь було зменшено більш ніж в 2,8 рази.

2. На прикладі реальної будівлі показано, що при коректному проведенні динамічної редукції із застосуванням SES суперелементів отриманий результат має високу збіжність із результатами, отриманими без редукції. Ступінь похибки залежить від кількості використаних форм.

3. Представлена методика розв'язку динамічних задач із використанням спектральних суперелементів дозволяє проводити динамічний, в т.ч. сейсмічний аналіз взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля» з урахуванням нелінійного деформування ґрунтів основи по явним схемам інтегрування.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гайан Р. Приведение матриц жёсткости и массы / Р. Гайан // Ракетная техника и космонавтика. – 1965. – Т. 3, № 2. – С. 287.
   Idem. Guyan R. J. Distributed mass matrix for plate element bending / R. J. Guyan // AIAA Journal. – 1965. – Vol. 3, №. 3. – P. 567-568.
2. Здания и сооружения. Проектирование высотных жилых и общественных зданий : ДБН В.2.2-24:2009. – Киев : Минрегионстрой Украины, 2009.
3. Клаф Р. Динамика сооружений : пер. с англ. / Р. Клаф, Дж. Пензиен. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с. – Перевод. изд.: Clough, Ray W. Dynamics of Structures / Ray W. Clough, Joseph Penzien. – New York, 1975.
4. Крэйг Р. Р. Сочленение подконструкций при динамическом расчёте конструкций / Р. Р. Крэйг, М. Бэмптон // Ракетная техника и космонавтика. – 1968. – Т. 6, № 7. – С. 113-121.
   Idem. Roy R. Craig. Coupling of substructures for dynamic analyses / Roy R. Craig, Jr., Mervyn C. C. Bampton // AIAA Journal. – 1968. – Vol. 6, № 7. – P. 1313-1319.
5. Сахаров В. А. Взаимодействие конструкций Зимненского монастыря с грунтовым основанием при сейсмических воздействиях / В. А. Сахаров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/7(72) – С. 18-23.
6. Сахаров В. О. Модель нелінійного деформування ґрунтової основи при сейсмічних навантаженнях / В. О. Сахаров // Основи та фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури – 2013. – Вип. 33. – С. 34-46.
7. Сахаров, В. О. Модифікація явного методу для ефективного розв'язання нелінійних задач геотехніки / В. О. Сахаров // Основи та фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – 2014. – Вип. 35. – С. 116-126.
8. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лащеников, Н. Н. Шапошников. – М. : Стройиздат, 1984. – 416 с.
9. Influence of soil-structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings / L. Mengke, L. Xiao, L. Xinzheng, Y. Lieping // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2014. – Vol. 6, Issue 5. – P. 477-485.

10. Lysmer J. Finite Dynamic Model for Infinite Media / J. Lysmer, R .L. Kuhlemeyer // Journal of the Engineering Mechnanics Division, Proc. ASCE. – 1969. – Vol. 95, № EM4. – P. 859-876,
11. NUREG – 0800. Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for the Nuclear Power Plants / US Nuclear Regulatory Commission, 1987.
12. Sakharov V. An investigation of system „soil base-foundation-structure" response to seismic forces with provision for nonlinear properties of materials / V. Sakharov // Proceedings of the Xth Conference „Konstrukcje zespolone", Poland. – Zielona Góra, 2014. – P. 407-426.

REFERENCES

1. Idem. Guyan R. J. Distributed mass matrix for plate element bending .AIAA Journal. 1965, Vol. 3, no. 3. pp. 567-568.
2. *Zdaniya i sooruzheniya. Proektirovanie vysotnyh zhilyh i vysotnyh zdaniy.* DBN V.2.2-24:2009. [Buildings andconstructions. Designing of high-rise residential and public buildings]. Kiev, Minregionstroy Ukrainy, 2009. (in Russian).
3. Klaf R., Penzien Dzh. *Dinamika sooruzheenii [Structural dynamics]*. Moscow: Stroiizdat. 1979. 320 P. – Transl.: Clough Ray W. , Joseph Penzien Dynamics of Structures. New York, 1975.
4. Roy Idem. Craig R., Mervyn C. C. Coupling of substructures for dynamic analyses .AIAA Journal. 1968. Vol. 6, no.7, pp. 1313-1319. .
5. Sakharov V. A. Vzaimodeistvie konstrukciy Zimnenskogo monastyrja s gruntovym osnovaniem pri seismicheskih vozdeistviyah [The interaction of structures of Zimnensy cathedral with soil foundation under seismic actions]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologiy*- East European Journal of advanced technologies. 2014, no. 6/7(72), pp. 18-23. (in Russian).
6. Sakharov V. O. Model' neliniynogo deformuvannia gruntovoi osnovy pry seismichnykh navantazhenniakh [A model of nonlinear deformation of the ground basis is at the seismic loading]. *Osnovy ta fundamenty* − Bases and foundations. Mizhvid. nauk.-tekhn. zb. -Scientific-technical. coll. KNUCA, 2013, no.33, pp. 34–46. (in Ukrainian).
7. Sakharov V. O. Modyfikatsiia yavnogo metodu dlia efektyvnogo rozv'iazannia neliniinykh zadach geotekhniky [Modification of an explicit method for the efficient solution of nonlinear problems of geotechnics]. *Osnovy ta fundamenty* − Bases and foundations. Mizhvid. nauk.-tekhn. -Scientific-technical. coll. KNUCA, 2013, no.35, pp. 116–126. (in Ukrainian).
8. Smirnov A. F., Aleksandrov A. V., Lashhenikov B. Ja, Shaposhnikov N. N. *Stroitel'ya mehanika. Dinamika i ustojchivost' sooruzheniy.* [Structural mechanics. Dynamics and stability of structures]. Moscow, Strojizdat,1984, 416 p. (in Russian).
9. Influence of soil-structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014,Vol. 6, no.5,pp. 477-485.
10. Lysmer J. Finite Dynamic Model for Infinite Media .Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE.1969, Vol. 95, no. EM4. pp. 859-876.
11. NUREG – 0800. Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for the Nuclear Power Plants / US Nuclear Regulatory Commission, 1987. Klaf. R. Penzien Dzh. Dinamika sooruzheniy [Dynamics of structures]. Moscow, Strojizdat, 1979. 320 p. Perevod izd. NewYork, 1975.
12. Sakharov V. A. An investigation of system „soil base-foundation-structure" response to seismic forces with provision for nonlinear properties of materials .Proceedings of the Xth Conference „Konstrukcje zespolone", Poland. Zielona Góra, 2014, pp. 407-426.

УДК 666.973:691.33

ОСОБЕННОСТИ АРМИРОВАННЫХ ШЛАКОЛИТЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ БЛОКОВ

ЩЕРБАК О. С.[*], *асс.*
[*] Каф. экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24 а, Днепропетровск, Украина, 49600; тел. (0562) 46-93-71, e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных энергозатрат, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения потребительских качеств выпускаемых изделий возникает необходимость в дополнительной термической обработке, что несколько усложняет их производство [1; 2]. ***Цель.*** Теоретическое и экспериментальное обоснование получения шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца. ***Выводы.*** Решение проблемы отходов должно рассматриваться с позиций так называемого промышленного метаболизма, согласно которому экономика, структура производства и потребления, а также качество жизни являются единной системой и соответственно единной социально-экономической проблемой.

Ключевые слова: *шлаковое литье, шлак силикомарганца, фундаментный блок, армирование, сталь.*

ОСОБЛИВОСТІ АРМОВАНИХ ШЛАКОЛИТИХ ФУНДАМЕНТНИХ БЛОКІВ

ЩЕРБАК О. С. [*], *ас.*
[*] Каф. екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600; тел. (0562) 46-93-71, e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Виготовлення виробів із шлакових розплавів вигідне й економічне, оскільки не вимагає додаткових енерговитрат, відпадає необхідність у спеціальних плавильних печах і значно знижуються питомі капітальні вкладення і собівартість одиниці продукції. Проте для забезпечення споживчих якостей виробів, що випускаються, виникає необхідність в додатковій термічній обробці, це дещо ускладнює їх виробництво [1; 2]. ***Мета.*** Теоретичне й експериментальне обгрунтування отримання шлаколитих фундаментних блоків із шлаків силікомарганцю. ***Висновки.*** Вирішення проблеми відходів повинне розглядатися з позицій так званого промислового метаболізму, згідно з яким економіка, структура виробництва і споживання, а також якість життя є єдиною системою і відповідно єдиною соціально-економічною проблемою.

Ключові слова: *шлакове литво, шлак силікомарганцю, фундаментний блок, армування, сталь.*

FEATURES OF REINFORCED OF SLAGS CASTING OF FUNDAMENTAL BLOCKS

SHCHERBAK O. S. [*], *Ass.*
[*] Department Ecology and Invironmental Protection, State higher educational establishment the «Pridneprovskaya state academy of building and architecture», street of Chernyshevskogo, 24 and, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; tel. (0562) 46-93-71,e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Summary. ***Purpose.*** Theoretical and experimental ground of receipt of slags casting of fundamental blocks from the slags of silicomanganese. ***Method.*** It was got further development, theoretical pictures of forming of structure of slags casting wares, technology of making of slags casting of fundamental blocks is improved from the slags of silicomanganese, allowing to improve their fisical-mehanical properties due to re-enforcement. ***Results.*** Phase-mineralogical composition and the main fisical-mehanical properties of slags casting of the reinforced fundamental

blocks from the slags of silicomanganese is investigated, technology of production of slags casting of the reinforced fundamental blocks from the slags of silicomanganese is developed. ***Scientific novelty.*** Theoretical pictures of forming of structure of slags casting wares got further development, technology of making of slags casting of fundamental blocks from the slags of silicomanganese is improved, allowing to improve their fisical-mehanical properties due to re-enforcement. ***Practical meaningfulness.*** Large wares for the decline of internal tensions reinforce a steel. As a coefficient of thermal expansion of slag less than, than became, at the cooling-down of wares a steel tightens founding densely, hindering formation of cracks. The reinforced slags casting wares can be applied in place of the combined teams of reinforced-concrete, they excel the last on прочностным indexes.

Keywords: *slag casting, slag of silicomanganese, fundamental block, re-enforcement, steel.*

Введение. Одной из важных составляющих устойчивого развития современного общества является экологическая безопасность и охрана окружающей природной среды (ОПС), большую опасность по отношению к которой представляют крупнотоннажные отходы промышленных предприятий. Выход шлаков ферросплавного производства на территории стран СНГ превышает 3,5 млн т в год, в том числе на предприятиях Украины приближается к 0,9 млн т в год. Низкий объём переработки отходов в Украине (10–15 %) обуславливает рост техногенного загрязнения всех компонентов ОПС. Проблема отходов имеет ряд серьезных экологических и экономических аспектов и требует принятия неотложных мер по её решению. Одним из перспективных и эффективных путей ее решения является использование промышленных отходов для создания новых технических материалов.

Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных энергозатрат, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения потребительских качеств выпускаемых изделий возникает необходимость в дополнительной термической обработке, что несколько усложняет их производство [1; 2].

Из расплавленных металлургических шлаков отливают разнообразные изделия: камни для мощения дорог и полов промышленных зданий, тюбинги, бордюрный камень, противокоррозионные плитки, трубы и др. Литые изделия из шлакового расплава экономически более выгодные, чем каменное литье, приближаясь к нему по механическим свойствам. Средняя плотность литых изделий из шлака достигает 3000 кг/м^3, а предел прочности при сжатии — 500 МПа.

По износостойкости, жаростойкости и ряду других свойств шлаковое литье превосходит железобетон и сталь. Литые изделия из шлака эффективнее, чем сталь, в различных футеровках, например, бункеров и тачек для транспортирования абразивных материалов (руд, агломерата, щебня, песка и т. д.). Срок службы их в 5–6 раз больше срока службы стальной футеровки. На каждой тонне литых из шлака плит экономят не менее 2–3 т металла.

Не менее эффективна литая брусчатка для дорог и полов промышленных зданий. Срок службы автомобильных дорог из шлаколитой брусчатки между капитальными ремонтами в 2 раза больше, а эксплуатация дешевле, чем асфальтовых. Из шлака отливают тюбинги для водонепроницаемых креплений горных выработок, жаростойкие блоки с температурой службы до 1 100–1 200 °С, химически стойкие изделия.

Цель. Теоретическое и экспериментальное обоснование получения армированных шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца.

Методика. Получили дальнейшее развитие теоретические представления о формировании структуры шлаколитых изделий, усовершенствована технология изготовления шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца, позволяющая улучшить их физико-механические свойства за счет армирования.

Результаты. По химическому составу шлаки силикомарганца представляют собой

насыщенный по кремнезему расплав сложного состава, который может быть отнесен к системе SiO_2 – MnO – CaO – MgO – Al_2O_3 – $(Na, K)_2O$. Среднестатистическое содержание компонентов в шлаках силикомарганца ОАО «НЗФ» составило: 50,56 % SiO_2; 14,9 % CaO, 4,39 % MgO, 15,12 MnO пределы содержания остальных компонентов: 1,7 – 10,5 % $(Na,K)_2O$, 8 – 10 % Al_2O_3, 2 – 3% FeO, 0,6 – 1,2% S^{2-}. Среднеквадратичное отклонение при статистической обработке около 1 300 серийных рентгеноспектральных анализов составляло (мас.%): 0,29 – SiO_2, 1,34 – CaO, 0,55 – MgO, 1,65 – MnO. Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системы MnO – CaO – SiO_2 [1; 2].

Полученные результаты показали, что наиболее эффективным методом формования расплава шлака Si–Mn без добавок является литье; формование изделий следует осуществлять при максимально возможных температурах расплава.

Многочисленные исследования [6–8] указывают, что с ростом SiO_2 в расплаве электропроводность снижается. Это объясняется уменьшением отношения nO/nSi, что сопровождается полимеризацией кремнекислородных анионов, например, по схеме:

$$SiO^{4-}_4 + SiO^{4-}_4 - O^{2-} = SiO;$$
$$nSi_2O^{6-}_7 - nO^{2-} = (SiO^{2-}_3)_{2n}$$

Полимеризация, дробление кремнекислородных анионов, кристаллизация расплава обычно сопровождаются изломами на кривых температурной зависимости электропроводности, что особенно важно в дальнейшем при разработке технологии получения стекло-кристаллических материалов. Величины полученных значений электроводности шлаков силикомарганца в исследуемом температурном интервале согласуются с известными данными [6; 8] (рис.) для модельных расплавов системы CaO-MnO-SiO_2.

Температурная зависимость электропроводности расплавов шлаков Si–Mn показала наличие перегибов при температурах 1 200–1 300 °С, отражающее внутриструктурные изменения в расплавах, связанных с их кристаллизацией.

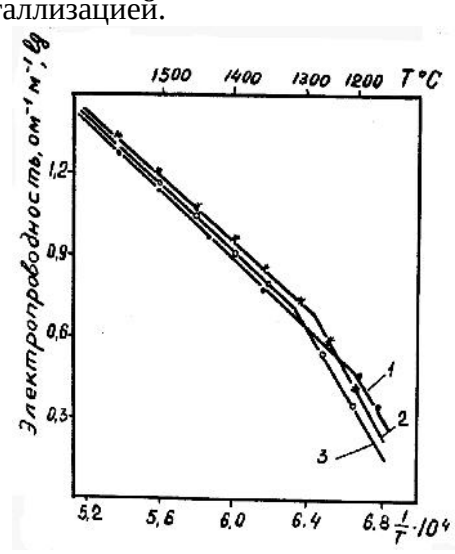


Рис. Температурные зависимости электропроводности шлаков

Примечание**:** Номера кривых соответствуют составам шлаков таблице 2.

Вязкость шлаковых расплавов не в полной мере характеризует их свойства и ее надо рассматривать в комбинации с поверхностными свойствами шлаков. Поверхностное натяжение и плотность являются важными статическими характеристиками шлаковых расплавов, от которых во многом зависят полнота и скорость протекания процессов углетермического восстановления, а также разделения шлаковой и металлической фаз. Взаимосвязь величин поверхностного натяжения и потерь металла в отвальных шлаках экспериментально подтверждена в [3]. Наиболее оптимальным, с этих позиций, является шлак с возможно наименьшим поверхностным натяжением и плотностью. Поверхностное натяжение играет значительную роль при удалении пузырей и гомогенизации шлакового расплава, способствует получению гладких поверхностей изделий [6; 8].

Исследованиями установлено [6; 8], что в зависимости от газовой среды поверхностное натяжение одного и того же силикатного расплава будет разным. Все газы (кроме азота) понижают поверхностное натяжение оксидных расплавов по сравнению с инертным протеканием процессов углетермического восстановления, а

также разделения шлаковой и металлической фаз. Наиболее оптимальным, с этих позиций, является шлак с возможно наименьшим поверхностным натяжением и плотностью.

Поверхностное натяжение играет значительную роль при удалении пузырей и гомогенизации шлакового расплава, способствует получению гладких поверхностей изделий [6; 8].

Влияние отдельных компонентов на удельную поверхностную энергию шлакового расплава оценивается критериями Ребиндера и Семченко [8]. Согласно первому, любой компонент, понижающий температуру плавления, понижает и его поверхностное натяжение расплава на границе с газом. Большой достоверностью отличается критерий Семченко, по которому влияние компонента на поверхностное натяжение определяется величиной его «обобщенного момента» (М):

$$M = \frac{eZ}{R} \qquad (1)$$

где: e – заряд электрона; Z – валентность иона; R – радиус иона, Å.

Известно, что замена закиси марганца кремнезема в составе оксидных расплавов повышает межфазное натяжение на границе раздела железомарганцевыми сплавами [3; 6]. Замена SiO_2 на оксид кальция при постоянном содержании TiO_2 ведет практически к пропорциональному увеличению поверхностного натяжения [4; 5]. Добавки MgO, FeO, Al_2O_3 увеличивают поверхностное натяжение шлаковых расплавов, а SiO_2, P_2O_5, TiO_2 уменьшают его [7].

Таблица 1

Поверхностное натяжение и плотность расплава шлака

Температура, °С	Поверхностное натяжение, кДж/м^2	Плотность, кг/м^3
1500	465	2820
1450	473	2910
1400	479	2920
1350	484	2980
20^x		3030

Закристаллизованные шлаки обладают рядом положительных эксплутационных свойств: износостойкостью, термостойкостью, кислотостойкостью. Шлаковое литье по своим прочностным свойствам соответствует бетону марки 550–700, может работать при температурах до 900 °С. В качестве литых изделий шлаковое литье может заменять металл, огнеупорные материалы, бетон. Срок службы оборудования, покрытого этим материалом, увеличивается в 1,5–6 раз. Основные характеристики изделий из шлакового литья приведены в таблице 1.

Таблица 2

Физико-механические свойства шлаков силикомарганца

Плотность, т/м^3	**Предел прочности**		**Истираемость кг/м^2**		**Водопоглощение, %**		**Кислотостойкость, %**		**Щелочностойкость, %**
29	при сжатии 600	при изгибе 65	0,2	0,0	99,8	96			

При затвердении, кристаллизации и последующем охлаждении отливок усадка шлака составляет 7 % объема, что вызвано изменением температуры и фазовыми

превращениями. Неравномерное распределение температур, колебания химического состава шлака приводят к возникновению напряжений, которые могут превышать предел прочности литья на растяжение и вызывать образование трещин. Термические напряжения в изделиях снимают в специальных печах для кристаллизации и отжига.

Для уменьшения напряжений и ликвидации усадочных явлений в отливках создают жесткий каркас наполнителя, в качестве которого используют кусковые шлаки. При отливке небольших плоских изделий количество наполнителя составляет 10–25 % объема, и он в основном расплавляется, аккумулируя тепло. В массивных изделиях наполнитель составляет до 40–60 % объема изделия и оплавляется лишь частично, снижая усадку и улучшая условия кристаллизации шлака. При этом возможно в широких пределах изменять среднюю плотность изделий, а также улучшать условия работы форм и значительно сокращать сроки охлаждения отливок.

Крупные изделия для снижения внутренних напряжений армируют стальной арматурой. Поскольку коэффициент термического расширения шлака меньше, чем стали, при остывании изделий стальная арматура плотно стягивает отливку, препятствуя образованию трещин. Армированные шлаколитые изделия можно применять вместо сборных железобетонных, они превосходят последние по прочностным показателям. Однако недостатками этих изделий являются: некоторое снижение прочности стали при высокой температуре шлакового расплава, а также сравнительно высокая трудоемкость изготовления. Для получения пористого шлакового литья выполняют поризацию шлакового расплава. С этой целью, например, на дно формы насыпают увлажненную коксовую мелочь

или обрабатывают расплав водой. Из поризованного шлакового расплава формуют изделия разнообразных конфигураций. В зависимости от степени поризации средняя плотность литых изделий колеблется в диапазоне 350—1500 кг/м^3 при прочности на сжатие 1,5—30 МПа.

Научная новизна и практическая значимость. Изучение технологических свойств шлака силикомарганца показало, что температурная зависимость вязкости шлака Si–Mn подчиняется общим закономерностям вязкого течения кислых силикатных расплавов. Вместе с тем шлак силикомарганца является существенно более меньшим по сравнению с промышленным шлакоситаллом и каменным литьем; температурный интервал формования для шлака силикомарганца вдвое меньше, чем для шлакоситалла, и на 60°С короче, чем соответствующий интервал для каменного литья. Жидкотекучесть шлака силикомарганца при температурах формования составляет от 60 до 90 мм, что значительно выше, чем у каменного литья. Температурный коэффициент изменения поверхностного натяжения $\Delta\sigma/\Delta T$ расплава в интервале 1 500–1 250°С составляет 7,6 10-2 кДж/см2 и при снижении температуры на 100 °С увеличивается на 4 %, как для большинства составов силикатных расплавов.

Низкая вязкость и высокая жидкотекучесть расплава шлака Si–Mn в интервале 1 500–1 380°С, резкое нарастание вязкости и в интервале 1 380–1 320°С, обусловленное упорядочением структуры расплава, позволило научно обосновать метод формования изделий из огненно-гадкого шлака Si–Mn – высокотемпературное литье. Определены тмпературные интервалы основных температурно-фазовых превращений кристаллизации огненно-жидкого шлака при охлаждении.

Выводы. Решение проблемы отходов должно рассматриваться с позиций так называемого промышленного метаболизма, согласно которому экономика, структура производства и потребления, а также качество жизни являются единной системой и соответственно единной социально-экономической проблемой.

1. В соответствии с отмеченными заданиями основными мероприятиями использования важнейших видов отходов являются: обеспечение на металлургических

предприятиях в результате внедрения новых технологий и мощностей утилизации отходов, которые содержат железо (шламы, окалина, колосниковая и агломерационная пыль), с использованием остатков в цементной промышленности вместо пиритных огарков.

2. Улучшение формирования шлаколитых фундаментных блоков за счет армирования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Использование отходов промышленности при производстве строительных материалов / В. И. Большаков, Н. В. Калиниченко, С. А. Щербак // Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions (conference), Warsaw, September, 2010 / Ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2010. – V. 18. – P. 451-454.
2. Большаков В. И. Современное состояние в переработке жидких шлаков ферросплавного производства / Большаков В. И., Елисеева М. А., Спильник Н. В., Куцин В. С., Неведомский В. А., Щербак С. А. // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харківський нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2010. – Вип. 61. – С. 336-340.
3. Большаков В. И. Технология производства шлаколитых строительных материалов из шлаков силикомарганца / Большаков В. И., Камбаров О. А., Елисеева М. А., Неведомский В. А., Щербак С. А., Щербак О. С. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2010. – № 2–3. – С. 13-17.
4. Большаков В. И. Углеродотермия шлаков силикомарганца и пути их применения / Большаков В. И., Куцин В. С., Неведомский В. А., Щербак С. А., Елисеева М. А // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5. – С. 4-8.
5. Будівельне матеріалознавство на транспорті / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. В. Пунагін, О. В. Громова. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
6. Вагин В. В. Каменное и шлакокаменное литье. Практическая петругия : монография / В. В. Вагин, Л. Ф. Лекаренко, П. Драгоун. – Донецк : ПП Чернецька Н. А., 2011. – 244 с.
7. Зайцев А. И. Физическая химия металлургических шлаков / Зайцев А. И., Могутнов Б. М., Махназов Е. Х. – Москва : Интеконтакт Наука, 2010. – 269 с.
8. Попов К. Н. Строительные материалы / Попов К. Н., Каддо М. Б. – Москва : Студент, 2012. – 439 с.

REFERENCES

1. Bol’shakov V.I. Kalinichenko N.V., Shcherbak S.A. Ispol’zovanie othodov promyshlennosti pri proizvodstve stroitel’nyh materialov [The use of industrial wastes in the production of construction materials].Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions (conference). Warsaw, 2010, V. 18, pp. 451-454. (in Russian).
2. Bol’shakov V.I, Eliseeva M.A., Spil’nik N.V., Kutsyn V.S. Sovremennoe sostoyanie v pererabotke zhidkih shlakov ferosplavnogo proizvodstva [The present state of a processing liquid slag ferroalloy production]. Naukovy visnyk budivnutstva – Scientific Bulletin of constraction. Sbornik nauchnykh trudov - Collection of Scientific paper. Kharkiv, 2010. 336-340 p. (in Russian).
3. Bol’shakov V.I., Kambarov O.A., Eliseeva M.A., Nevedomskii V.A. Tehnologiya proizvodstva shlakolitnyh stroitel’nyh materialov iz shlakov silikomargantsa [Technology of production of slag cast building materials from slag silico]. Visnyk PDABA − Bulletin of Prydniprovs’ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 2010, no. 2-3, pp.13-17. (in Russian).
4. Bol’shakov V.I., Kutsyn V.S., Nevedomskii V.A., Shcherbak S.A. Uglerodotermiya shlakov silikomargantsa i puti ih primeneniya [Carbon thermia of silicomanganese slag and the way of use them.]. Visnyk PDABA − Bulletin of Prydniprovs’ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 2011, no.5, pp.4-8. (in Russian).
5. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Gromova O.V. Budivel’ne materialoznavstvo na transporti [Construction materials on transport]. Dnepropetrovsk, Vudavnutstvo Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitrtu zaliznychnogo transportu im.akad. V. Lazaryana 2010. 624 p. (in Ukrainian).
6. Vagin V.V., Lecarenko L. F., Dragoun P. Kamennoe shlakokamennoe lit’e [Stone and slag stone molding]. Donetsk, PP Chernetska N.A. 2011. 244 p. (in Russian).
7. Zaitsev A.I., Mogutnov B.M., Makhnazov E.Kh. Fizicheskaya khimiya metalurgicheskih shlakov [Physical chemistry of metallurgical slags]. Moscow, Intecontact Nauka, 2010. 269 p. (in Russian).
8. Popov K.N., Kaddo M.B. Stroitel’nye materially [Construction materials]. Moscow, Student, 2012, 439 p. (in Russian).

УДК 624.042:621.875

ДИНАМІЧНА ДІАГНОСТИКА НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГРЕЙФЕРНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА – ШЛЯХ ДО ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙ

МАКАРОВ А. В.[*]
[*] Проектний інститут "Дніпропроектстальконструкція", пр. Карла Маркса, 59-а, 49000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Анотація. ***Постановка проблеми.*** На підприємствах гірничо-металургійного комплексу України, хімічної та енергетичної галузі експлуатують грейферні мостові перевантажувачі для навантаження і вивантаження різних сипучих матеріалів. Усі перевантажувачі встановлено на відкриттих промислових ділянках, внаслідок чого вони сприймають дію зовнішніх природних факторів (атмосферних опадів) та агресивних технологічних факторів (водяних парів градирень, гасильних веж коксохімічного заводу, вапна, парів повітря від спучування шлаку тощо). Робочі амплітуди коливань несних конструкцій перевантажувача під час руху візків із масою в сотні тонн спричинюють утомі пошкодження, що потребує значних часових та матеріальних витрат на їх усунення. У літературі з розрахунків та експлуатації перевантажувачів мало розглянуті питання дослідження динамічних навантажень під час технологічних операцій, уточнення динамічних розрахунків несних металоконструкцій і можливості теоретичного прогнозування їх стану, зниження амплітуд коливань і прискорення виконання робіт під час натурного обстеження. Після закінчення нормативного терміну експлуатації перевантажувача для визначення технічного стану крана, проводять експертні обстеження з періодичністю не рідше ніж раз на 2 роки за ОМД 0120253.001-2005 «Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування кранів мостового типу)» [9]. Проблеми під час оцінювання залишкового ресурсу старіючого обладнання зумовлені недостатньою ефективністю традиційних методів неруйнівного контролю. ***Мета***. Встановити зв'язок частоти і форми власних коливань просторової моделі несних сталевих конструкцій перевантажувача з основними варіантами можливих пошкоджень на підставі теоретичних досліджень. ***Висновок***. Шляхом моделювання різних варіантів аварійних ситуацій на перевантажувачах можна скласти атлас пошкоджень несних сталевих конструкцій. Це дозволить проводити швидкий аналіз в умовах зміни частоти власних коливань і співвідношення нормованих переміщень однією із форм, із визначенням місць і можливої причини пошкоджень основних несних металоконструкцій.

Ключові слова: *аварії несних конструкцій, мостовий перевантажувач, вібраційний контроль, діагностика, динаміка.*

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРЕЙФЕРНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ – ПУТЬ К ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ АВАРИЙ

МАКАРОВ А. В.[*]
[*] Проектный институт "Днепрпроектстальконструкция", пр. Карла Маркса, 59-а, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** В украинском горно-металлургическом комплексе, химических и энергетических отраслях эксплуатируют грейферные мостовые перегружатели для погрузки и выгрузки различных сыпучих материалов. Все перегружатели установлены на открытом воздухе и, помимо атмосферных осадков, воспринимают еще технологические агрессивные воздействия от основного производства (водяные пары градирен, тушильных башен коксохимического завода, известь, пары воздуха от вспучивания шлака и др.). Рабочие амплитуды колебаний несущих конструкций перегружателя при движении тележек с массой в сотни тонн приводят к усталостным повреждениям, отсюда большие затраты времени и средств по их устранению. В литературе по расчетам и эксплуатации перегружателей практически не рассматриваются вопросы исследования динамических нагрузок при технологических операциях, уточнения динамических расчетов несущих металлоконструкций и возможности теоретического прогнозирования их состояния, снижения амплитуд колебаний и ускорения производства работ при выполнении натурного обследования. После окончания нормативного срока службы перегружателя для определения дальнейшего технического состояния крана проводятся экспертные обследования с частотой не реже раз в 2 года по ОМД [9]. Проблемы при оценке остаточного ресурса стареющего оборудования обусловлены недостаточной эффективностью традиционных методов неразрушающего контроля. ***Цель.*** На основании теоретических исследований

установить связь частоты и формы собственных колебаний пространственной модели несущих стальных конструкций перегружателя с основными вариантами возможных повреждений. ***Вывод.*** На основании создания набора всевозможных аварийных ситуаций перегружателя можно составить атлас повреждений несущих стальных конструкций. Это позволит проводить быстрый анализ при изменении частоты собственных колебаний и соотношения нормированных перемещений одной из форм, с последующим указанием мест и возможной причины повреждений основных несущих металлоконструкций.

Ключевые слова: *аварии несущих конструкций, мостовой перегружатель, вибрационный контроль, диагностика, динамика.*

DYNAMIC DIAGNOSTICS OF BEARING CONSTRUCTION OF WIDE SPAN GANTRY – THE WAY TO PREVENT THE ACCIDENTS

MAKAROV A. V.[*]

[*] Design institute "Dneprproektstalkonstruktsiya", prospectus Karla Marksa, 59-a, Dnipropetrovsk 49000, Ukraine, tel. +38 (056) 7440071, e-mail: macandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1610-5598

Summary. ***Raising of problem.*** In the Ukrainian mining and metallurgical complex, chemical and energy industries exploit the wide span gantry for loading and unloading of bulk materials. All the wide span gantry are installed outdoors and, in addition to the atmospheric precipitation, perceive more aggressive technological impact on primary production (water vapor cooling towers, towers quenching coking plant, lime, a pair of air from swelling slag et al.). Working amplitude of oscillations bearing structures of the wide span gantry loader when driving trucks with weighing hundreds of tons lead to fatigue damage - hence the high cost of time and money to remove them. In the literature by calculations and operation of wide span gantry it isn't consider the questions of research of dynamic loads with technological operations, the accurate definition of dynamic calculations of bearing metal and the possibility of the theoretical prediction their condition, the amplitude decay of oscillations and accelerate production of works with implementation of full-scale study. It's doing the expert survey with the frequency at least once every 2 years after the end of their service life time of the wide span gantry to determine further technical condition of the crane [9]. The problems in the assessment of aging equipment residual bind with the lack of efficacy of traditional methods of indestructible control. ***Purpose.*** On the basis of theoretical research, it will connect the frequency and the shape of the natural oscillations of the spatial model of steel structures wide span gantry with basic versions for possible damage. ***Conclusion.*** On the basis of creating a set of emergency wide span gantry you can make the atlas of damage of steel structures. It will allow to do the rapid analysis with changing of the oscillation frequency one of the form, following indication site and possible cause of damage to the main load-bearing steel structures.

Keywords: *accident of bearing structures, wide span gantry, vibration-based check, diagnostics, dynamics.*

Постановка проблемы. В украинском горно-металлургическом комплексе, химических и энергетических отраслях эксплуатируют грейферные мостовые перегружатели (далее – перегружатель) для погрузки и выгрузки различных сыпучих материалов. Все перегружатели установлены на открытом воздухе и, помимо атмосферных осадков, воспринимают еще технологические агрессивные воздействия от основного производства (водяные пары градирен, тушильных башен коксохимического завода, известь, пары воздуха от вспучивания шлака и др.). Рабочие амплитуды колебаний несущих конструкций перегружателя при движении тележек с массой в сотни тонн приводят к усталостным повреждениям, отсюда – большие затраты времени и средств по их устранению. (Интересно отметить, что в последнее время в мировой литературе появляется информация о проектировании новой машины в технике, которую для различных областей применения называют одним словом «3D-принтер». Размеры этой машины от миниатюрной быстро вырастают до домостроительного уровня, при котором очертания, технологии и конструкции машины, печатающие дома, могут приблизиться к исследуемым перегружателям и даже их превзойти. В этих случаях может быть использован опыт проектирования, обследования, испытания и реконструкции перегружателей при создании новых машин [1; 6; 14]).

В литературе по расчетам и эксплуатации перегружателей практически не рассматриваются вопросы исследования динамических нагрузок при технологических операциях, уточнения динамических расчетов несущих металлоконструкций и возможности теоретического прогнозирования их состояния, снижения амплитуд колебаний и ускорения производства работ при выполнении натурного обследования.

Анализ публикаций. В большинстве случаев перегружатели отслужили по одному, а то и по три эксплуатационных срока. Вопрос определения остаточного ресурса перегружателя регламентируется сроком службы его несущих металлоконструкций. В организационном методическом документе [8] норма срока службы – 12 лет. После окончания нормативного срока службы перегружателя для определения дальнейшего технического состояния крана проводятся экспертные обследования с частотой не реже раза в 2 года по ОМД. Проблемы при оценке остаточного ресурса стареющего перегружателя обусловлены недостаточной эффективностью традиционных методов неразрушающего контроля [3].

Известно, что обследования стальных конструкций проводятся различными методами неразрушающего контроля: акустический (ультразвук); акустико-эмиссионная диагностика; магнитный (коэрцитивная сила, намагниченность, индукция, магнитная проницаемость); вихретоковый; визуально-оптический; капиллярный; вибрационный и др [4; 5; 9; 12].

Вопросы расчетов колебаний различных сооружений и оценки их воздействия расмотрены в литературе [2; 11].

Цели и задачи. На основании теоретических исследований установить связь частоты и формы собственных колебаний пространственной модели несущих стальных конструкций перегружателя с основными вариантами возможных повреждений.

Изложение материала. Исторически одной из величин, которая характеризовала и динамические нагрузки на сооружение, и динамические свойства самого сооружения, являлся динамический коэффициент. В различных задачах и отраслях техники наполнение этого коэффициента принималось разным. В мостостроении ограничивались долгие годы одним коэффициентом, являющимся как бы добавкой к статической нагрузке от собственного веса.

А в классической теории колебаний, по учебнику Я.Г. Пановко, под коэффициентом динамичности понимается, во сколько раз амплитуда установившихся вынужденных колебаний на круговой частоте θ при моногармонической силе $P(t) = P_0 \sin\theta t$ больше перемещения, вызываемого статически приложенной амплитудой этой силы P_0 [10].

В этом случае динамический коэффициент (по перемещениям) равен:

$$« = \frac{A^{дин}}{A^{стат}}, \qquad (1)$$

где: $A^{дин}, A^{стат}$ – перемещения динамическое и статическое соответственно.

Для системы с одной степенью свободы (для так называемого осциллятора) эта методика понятна и справедлива. Однако некоторые учебники по строительным конструкциям иногда распространяют такую методику «единого динамического коэффициента» на систему с несколькими степенями свободы, допуская серьёзную неточность. Если в осцилляторе такой коэффициент справедлив для перемещений, скоростей, ускорений, динамических напряжений и т. п., то в дискретных моделях с конечным числом степеней свободы имеется несколько пиков на амплитудно-частотной характеристике, которая, в свою очередь, различна для разных сечений конструкций с переменными параметрами.

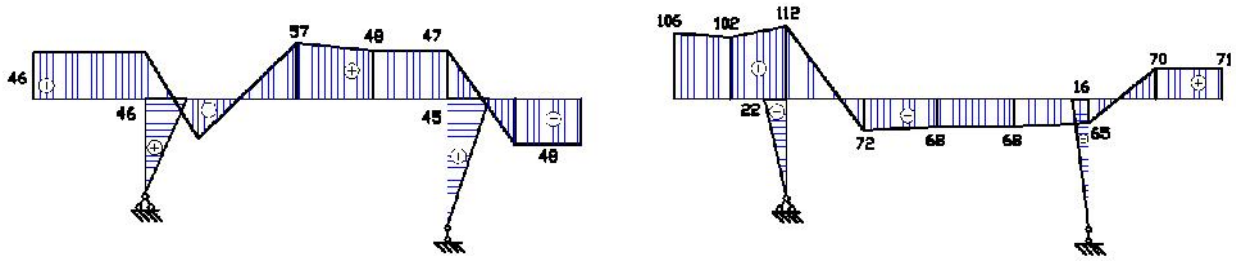
Именно такой конструкцией и является рассматриваемый грейферный мостовой перегружатель. Если в протяженной конструкции имеются элементы с большей и меньшей жесткостями, то они могут на разных частотах по-разному откликаться на одно и то же возмущение. Следовательно, в разных сечениях пространственной

конструкции будут различные динамические коэффициенты, что удобно изображать на эпюрах этого параметра. Ниже приведен пример использования эпюр динамических коэффициентов перемещений перегружателя трубчатого типа. Покажем результаты исследований для двух основных рабочих форм колебаний. Первая – продольно-горизонтальная форма колебаний в вертикальной плоскости перегружателя, вызванная, например, разгоном или торможением грейферной тележки (рис. 1 а). Другая форма колебаний – вертикальная (изгибная), вызванная работой механизма подъема груза (рис. 1 б).

а *б*

Рис. 1. Основные формы собственных колебаний перегружателя:
а – продольно-горизонтальная на частоте 0,64 Гц; б – вертикальная на частоте 1,61 Гц

Для анализа динамического поведения пространственных рам к модели перегружателя прикладывалась сначала к мосту по его продольной оси в вертикальной плоскости горизонтальная гармоническая нагрузка $P_0 \sin\theta t$ на резонансной частоте 0,64 Гц. Затем прикладывалась к той же точке, только статическая нагрузка P_0. Результаты вычислений приведены в виде эпюр динамических коэффициентов по перемещениям, вычисленных по формуле (1) для каждого сечения отдельно, см. рисунок 2а. Аналогично исследовалась и вертикальная форма колебаний (рис. 2б).



а *б*

Рис. 2. Эпюры динамических коэффициентов по перемещениям для основных форм колебаний перегружателя:
а – продольно-горизонтальная форма колебаний в плоскости перегружателя; б – вертикальная форма изгибных колебаний основного тона

Как видно из пространственных эпюр динамических коэффициентов, такое представление нагруженности системы позволяет увидеть реальную картину распределения амплитуд перемещений крана от динамической нагрузки *P(t)* и показывает наглядно ошибочность стандартной методики умножения всех статических нагрузок на единый «динамический коэффициент».

Другой метод основан на применении метода вибрационного неразрушающего контроля. Он позволяет интегрально определить по анализу динамических характеристик (частоты, амплитуды, формы, логарифмический декремент колебаний) состояние и работоспособность конструкций, выявить локализации разрушений даже в труднодоступных местах. Такая работа была проведена, например, на основных конструкциях мостового перегружателя решетчатого типа (рис. 3). Она позволила определить возможные места аварийных разрушений элементов.

Рассмотрим этот алгоритм на примере моделирования динамических характеристик и нагруженности металлоконструкций

пространственной модели перегружателя с использованием программно-вычислительного комплекса «Selena» [13].

Рис. 3. Мостовой перегружатель решетчатой конструкции с гибкой и жесткой опорами

Пространственная расчетная схема модели включает в себя: пространственную схему решетчатого перегружателя по рабочим чертежам в ПК Selena, которая имеет 339 узлов, 717 элементов, 22 типа конечных элементов, 20 сосредоточенных масс (рис. 4).

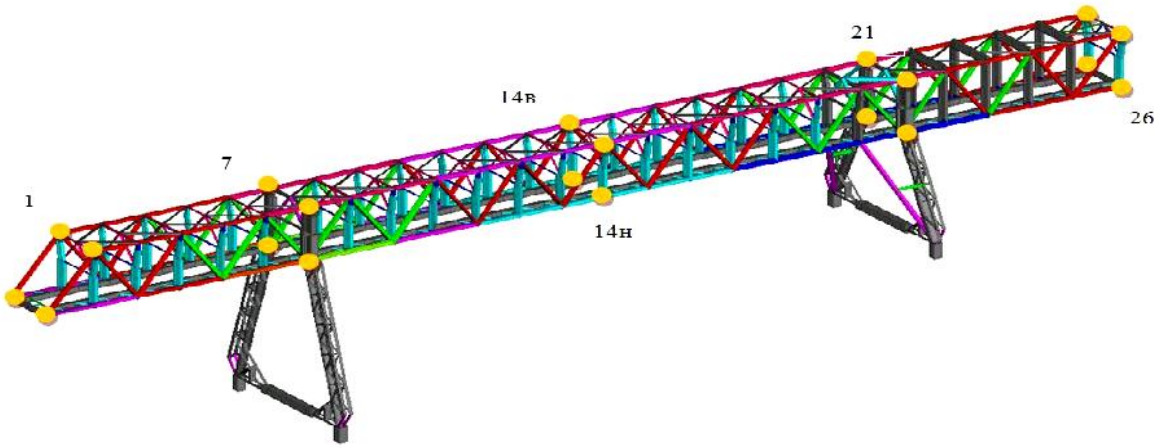


Рис. 4. Пространственная 3-D модель решетчатого перегружателя с приложенными сосредоточенными массами: т.1 – 4х8,78 т; т.7 – 4х39,06 т; т.14в – 4х37,77 т; т.14 н – 2х(37,77 т+63,9 т); т.21 – 4 х 41,24 т; т.26 – 4х10,62 т

А многотонная подвижная грейферная тележка располагалась при описанных ситуациях в середине пролета.

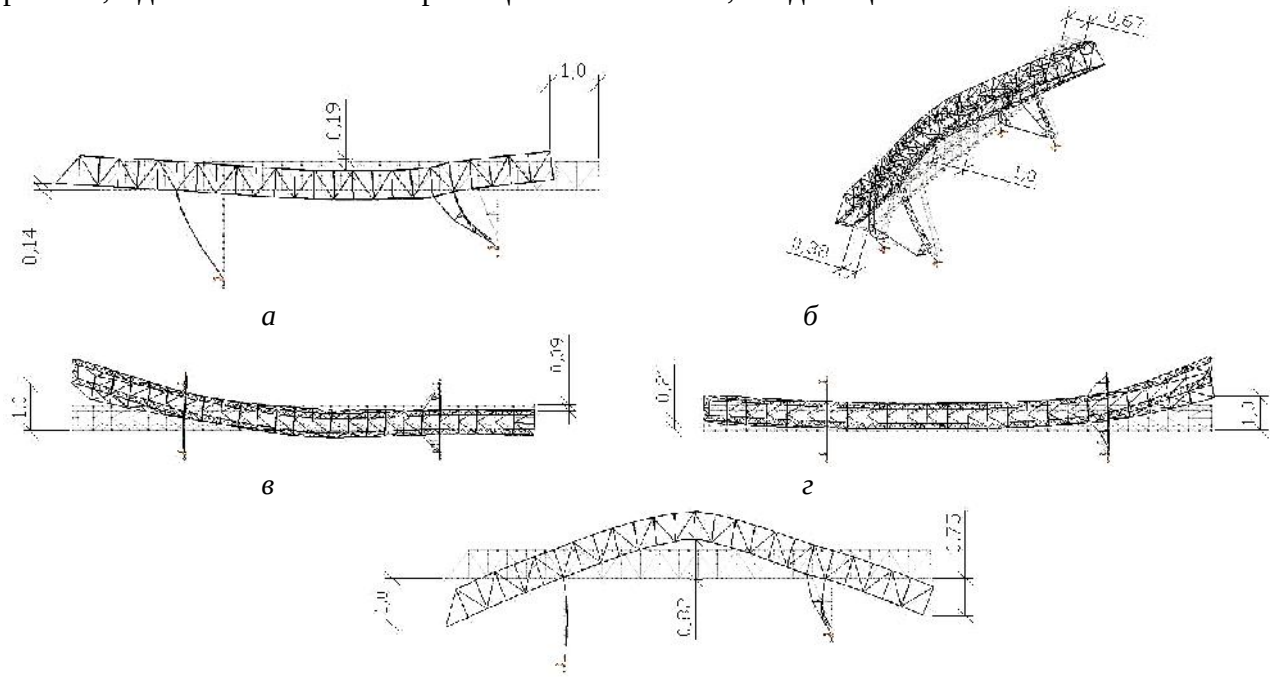
Проведем расчет собственных колебаний перегружателя при условиях, что грейферная тележка стоит в середине пролета, а обе опоры крана закреплены. На рисунке 5 приведены пять низших форм собственных колебаний (за единицу примем наибольшее перемещение амплитуды колебаний).

Инженеру-практику при обследовании металлоконструкций огромного перегружателя надо визуально осмотреть в первую очередь основные несущие элементы сооружения массой порядка 800 т. Эта огромная работа обычно ещё усложняется кратчайшими сроками её выполнения. В данной статье делается попытка облегчения такого поиска путем применения интегральной динамической диагностики всего объекта – здесь предлагается составлять как бы атлас (альбом) динамических паспортов перегружателя, которому искусственно наносится какое-либо весьма серьёзное повреждение.

В данной работе для решетчатого перегружателя устранялись поочередно

некоторые характерные стержневые несущие элементы. Составлялся теоретический динамический паспорт, который можно сравнивать с паспортом без нанесения повреждения.

Например, на рисунке 6 а представлен случай разрушения элемента верхнего пояса у гибкой опоры перегружателя. Как видно из сравнения рис. 5 а и рис. 6 б, отсутствие разрушенного элемента (по схеме рис. 6 а) привело к новым (которого не было ранее на рис. 5 а, здесь наибольшее перемещение на **единицу** было по всем сечениям моста в горизонтальном направлении; закручивания рам моста относительно его продольной оси также не было) горизонтально-поперечным перемещениям моста на 0,95 единицы (за единицу примем наибольшее перемещение в этой форме (рис. 6 б по горизонтально-продольному направлению в вертикальной плоскости перегружателя). Аналогично в этой форме появилось и новое закручивание среднего сечения основного пролета моста на 0,02 единицы.

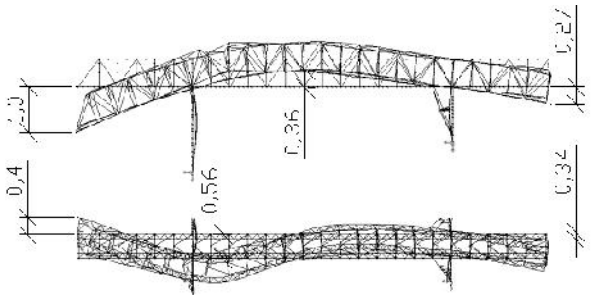


а *б* *в* *г* *д*

Рис. 5. Схемы собственных колебаний перегружателя: а – 0,61 Гц горизонтально-продольная в вертикальной плоскости; б – 0,62 Гц горизонтально-поперечные изгибные колебания моста с закручиванием и смещением гибкой опоры моста;в – 0,83 Гц горизонтально-поперечные колебания консоли гибкой опоры (вид сверху);г – 1,03 Гц горизонтально-поперечные колебания консоли жесткой опоры (вид сверху); д – 1,72 Гц изгибные вертикальные колебания моста

Происходит добавление к низшей собственной форме (рис. 5 а) горизонтально-изгибных колебаний с закручиванием моста (рис. 6 б).

а *б*

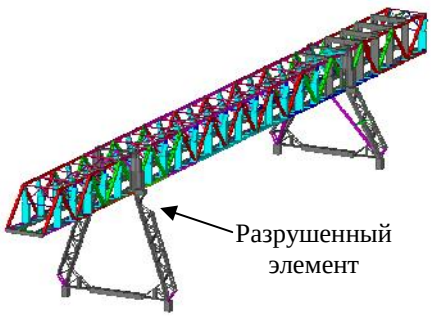


в

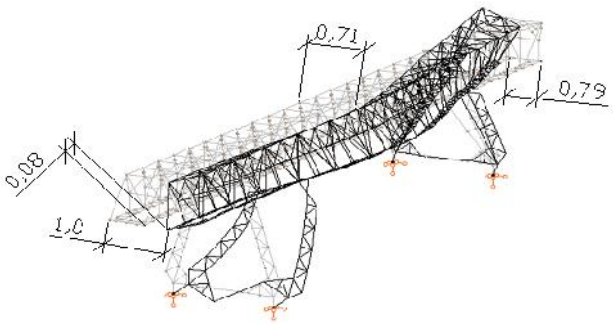
Рис. 6. Формы собственных колебаний перегружателя с поврежденным верхним поясом: а – пространственная модель перегружателя с разрушенным элементом верхнего пояса у гибкой опоры; б – низшая форма собственных колебаний на частоте 0,61 Гц;в – пятая форма собственных колебаний на частоте 1,43 Гц

Кроме того, при таком дефекте понизилась частота третьей формы с 0,83 Гц до 0,72 Гц (горизонтальные колебания консоли, рис. 5 в) и пятой – в вертикальной плоскости: с 1,72 Гц до 1,43 Гц (с резким добавлением местного изгиба в горизонтальной плоскости в зоне нанесения дефекта, рис. 6 в). На рисунке 7 а представлен случай разрушения элемента гибкой опоры. Реакция динамической модели перегружателя показала снижения частоты 0,61 Гц второй формы собственных колебаний (рис. 7 б) до низшей формы с частотой 0,58 Гц.

Следующий случай представлен разрушением элемента опорного подкоса (рис. 8). Реакция динамической модели – снижение частот первой (рис. 5 а) и пятой (рис. 5д) формы собственных колебаний. Таким образом составлена база данных теоретического (без повреждений) и аварийного паспорта (с присутствующими повреждениями) - таблица 1. Снижение частоты при разрушении верхнего пояса главной фермы составляет 13 % для третьей и 17 % для пятой форм собственных колебаний. При разрушении элемента гибкой опоры перегружателя происходит снижение на 6 % частоты второй формы собственных колебаний; понижение частот на 26 % и 4 % соответственно для первой и пятой форм собственных колебаний.



а



б

Рис. 7. Низшая форма собственных колебаний перегружателя с поврежденным элементом гибкой опоры: а – пространственная модель перегружателя с разрушенным элементом гибкой опоры; б – низшая форма горизонтально-поперечных изгибных колебаний моста с закручиванием и смещением гибкой опорына частоте 0,58 Гц

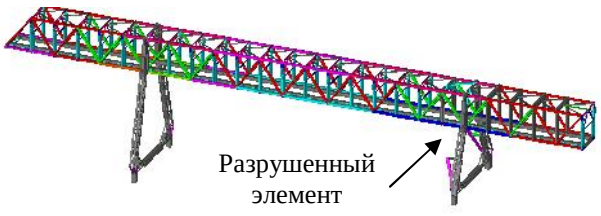
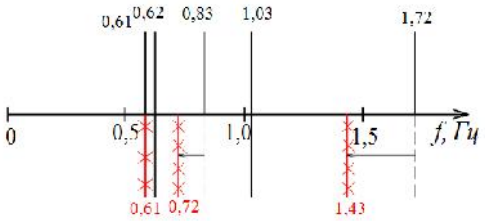
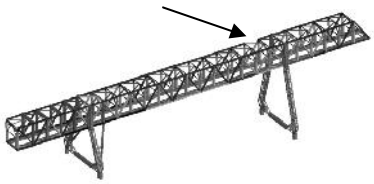
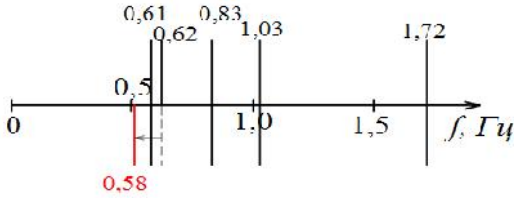
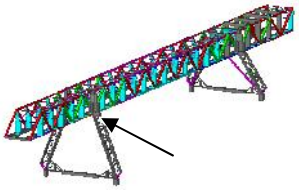
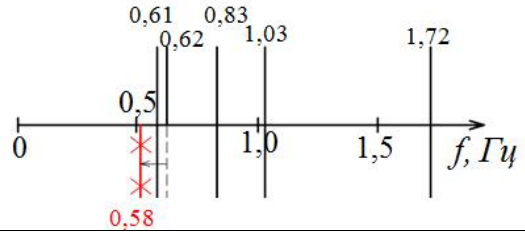
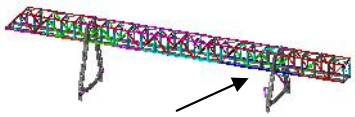


Рис. 8. Схема перегружателя с разрушенным опорным подкосом

Таблица 1

Составление динамического паспорта

Состояние металлоконструкций перегружателя	Динамический частотный паспорт	Указание места разрушенного элемента
Работоспособное		
Аварийное		
Работоспособное		
Аварийное		
Работоспособное		
Аварийное		

Выводы. На основании создания набора всевозможных аварийных ситуаций перегружателя можно составить атлас повреждений несущих стальных конструкций. Это позволит проводить быстрый анализ при изменении частоты собственных колебаний и соотношения нормированных перемещений одной из форм, с последующим указанием мест и возможной причины повреждений основных несущих металлоконструкций.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Альперин В. М. Натурные испытания металлических конструкций трубчато-балочного крана-перегружателя / В. М. Альперин, О. И. Ганиза, В. И. Латыш // Материалы по металлическим конструкциям / ЦНИИпроектстальконструкция. – М., 1977. – Вып. 19. – С. 148-160.
2. Вибрации в технике : справочник в 6 т. / гл. ред. В. Н. Челомей. – М. : Машиностроение, 1978-1981.
3. Дубов А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 49-54.
4. Иванов В. Н. Техническое диагностирование подъемно-транспортных машин и оборудования : монография / В. Н. Иванов. – Харьков : Индустрия, 2009. – 204 с. : ил.
5. Исследование и практика применения магнитной структуроскопии при техническом диагностировании кранов-прегружателей завода «Сибтяжмаш» / В. А. Гудошник, С. А. Губский, В. А. Попов, Ю. В. Чмырь // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 2. – С. 46-50.
6. Крылов Н. А. Испытание конструкций сооружений / Н. А. Крылов, К. А. Глуховский. – Ленинград : Стройиздат, 1970. – 270 с.
7. Кулябко В. В. «Безопасность по проекту» сооружений с обеспечением комфорта людей – динамическая и виброэкологическая паспортизация и мониторинг / В. В. Кулябко, А. В. Масловский, А. В. Макаров, А. В. Банах // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування : наук.-техн. збірник / Придніпр. Держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 42 : Матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції "Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства", 14-15 червня 2007, Дніпропетровськ. – С. 166-172.
8. Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування кранів мостового типу) : ОМД 0120253.001-2005 / Підйомно-транспортна акад. наук України. – Харків, 2005. – 158 с.

9. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Машиностроение, 2003. – 656 с. : ил.
10. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – Москва : Наука, 1977. – 224 с.
11. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т. 3 / под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – Москва : Машиностроение, 1968. – 567 с.
12. Редченко В. П. Моніторинг технічного стану мостів методами пасивної вібраційної діагностики / В. П. Редченко // Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 223-227.
13. Универсальный программный комплекс для расчета и проектирования строительных конструкций Selena [электронный ресурс]. – Режим доступа : http://selenasys.com.
14. Якутин Г. С. Испытание конструкций динамическими нагрузками : метод. пособие / Г. С. Якутин. – Хабаровск : ДВГУПС, 2006. – 53 с. : ил.

REFERENCES

1. Alperin V. M. Naturnye ispytania metalicheskih konstruktsiy trubchato-balochnogo krano-peregruzhatelya [Full-scale tests of metal constructions of tubular-beam crane loader]. *Materialy po metalicheskim konsruktsiyam* − Materials for metal structures. *Proektstal'konstruktsiya* − Project and steel construction. Moscow, 1977, pp.148-160. (in Russian).
2. Chelomey V.N. *Vibratsiya v tekhnike*: spravochnik [Vibrations in techniques: Reference book]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1978 – 1981. (in Russian).
3. Dubov A. A. Problemy otsenki ostatochnogo resursa stareyushchego obarudavaniya [Problems of valuation of remaining life tabular beam wide span gantry]. *Tehnicheskaay diagnostika i nerazrushchayushchii kontrol'*− Technikal diagnostic and nondestructive testing. 1977, pp.148-160. (in Russian).
4. Ivanov V. N.*Tekhnicheskoe diagnostirovanie pod'emno-transportnykh mashyn i oborudovaniya.* [Technical diagnostics of lifting-transportation machines and equipment]. Kharkov, Industriya, 2009. 204 p. (in Russian).
5. Gudoshnik V. A, Gubskiy S. A., Popov V. A. Chmyr Yu. V. Issledovaniya i practika primeneniya magnitnoy strukturoskopii pri tekhnicheskom diagnostirovanii kranov – peregruzhateley zavoda "Sibtyazhmash" [Research and practice of application of magnetic structure-scopy during the technical diagnostics of wide span gantries of plant "Sibtiazhmash"]. *Tekhnicheskaya duagnostika i nerazrushchayushchiy kontrol'* − Technical diagnostics and non-destructive testing. 2011. no 2. pp. 46-50. (in Russian).
6. Krylov N. A. Glukhovskiy K.A. *Ispytanie konstruktsiy sooruzheniy* [Tests of constructions of buildings]. Leningrad, Stroyizdat, 1970. 270 p. (in Russian).
7. Kuliabko V. V., Maslovskiy, A. V. Makarov A. V. 'Bezopasnost' po proekty' sooruzheniy s obespecheniem komforta lyudey-dinamicheskaya i vibroekologicheskaya pasportizatsiya i monitoring ["Security of project" of buildings with securing of people's comfort - dynamic and vibroecological pasportization and monitoring]. *Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannia. Naukovo-technichnyi zbirnyk* − Construction, materials science mechanical engineering. Scientific and technical collection. The second International Scientific Conference "Safety of human life as a condition of a stable development of modern society". .Dnipropetrovsk, 2007, pp. 166-172. (in Russian).
8. *Metodyka provedennia ekspertnogo obstezhennia i tehnichnogo diagniostuvannya kraniv mostovoggo typu* [Methods of realization of expert inspection (technical diagnostics of bridge cranes]. OMD 0120253.001. Pidiomno-transportna academiia nauk Ukrainy −Lifting and transport Academy of sciences of Ukraine. Kharkiv, 2005.158 p. (in Ukrainian).
9. Kluev V.V Sosnin F.R. Kovalev A.V. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika.* Spravochnik [Methods of realization of expert inspection and diagnostics. Reference book]. Moscow, Masinostroenie, 2003, 656 p. (in Russian).
10. Panovko Y. G. *Vvedennia v teoriu mekhanychnyh kolibaniy.* [Introduction in the theory of mechanic oscillations]. Moscow, Nauka, 1977. 224 p. (in Russian).
11. Panovko Y. G., Birger I.A. *Prochnost,' ustoichevost', kolebaniya. Spravochnyk* [Durability, stability, oscillations. Reference book]. Moscow, Nauka, 1977. 224 p. (in Russian).
12. Redchenko V.P. Monitoring tekhnicheskogo stanu mostiv metadamy passyvnoi vibratsiinoi diagnostyky [Monitoring of technical condition of bridges with the methods of passive vibration diagnostics]. *Visnyk DNUZT. akad. V. Lazariana* − Bulletin of DNURT named after academician V. Lazarian, 2010. pp. 223-227. (in Ukrainian).
13. *Universal'ny programny kompleks dlya rascheta i proektirovaniya atroitel'nyh konstruktsiy Selena* [Universal software package for calculation and design of building structures Selena]. (in Russian). Available at: http://selenasys.com
14. Yakutin G. S. *Ispytanie konstruktsiy dinamicheskimi nagruzkami* [Tests of constructions with dynamic loadings*]*. Khabarovsk, DVGUPS, 2006. 53 p. (in Russian).

АРХІТЕКТУРА

УДК 728.2 – 029.9 (477.63)

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ АДАПТАЦІЇ ПРИБУТКОВИХ БУДИНКІВ КАТЕРИНОСЛАВА ДЛЯ СУЧАСНИХ УМОВ

ЦИМБАЛОВА Т. А.[*], *ас.*

[*] Кафедра архітектурного проектування і дизайну, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-88, e-mail: zimbalova@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-0854-0250

Анотація. ***Постановка проблеми***. Починаючи з другої половини XVIII століття у великих містах Європи, частини України, яка входила до складу Російської імперії, набули поширення прибуткові будинки (житло, що надається в оренду). У Катеринославі, який до початку XX століття став найбільшим металургійним центром метрополії, зафіксовано найвищі показники темпів зростання населення і масове будівництво прибуткових будинків [3; 13]. Наразі будівлі колишніх прибуткових будинків складають понад 80 % історичної забудови Дніпропетровська. Переважна частина прибуткових будинків у сучасних умовах має різні комбінаторики житлової та громадської функцій. Їх використання здійснюється за випадковим схемами, при цьому якісні та кількісні показники в більшості випадків не узгоджуються з чинними нормами і правилами. Існує необхідність у проведенні оцінювання ресурсів прибуткових будинків з метою їх подальшого використання, що визначило актуальність даної статті. ***Мета***. Розробка особливостей архітектурно-планувальної адаптації будівель прибуткових будинків на підставі комплексного вивчення факторів їх формування у структурі історичних кварталів та в контексті класифікацій для сучасних умов. ***Аналіз публікацій***. Дослідження авторів, присвячені прибутковим будинкам, розглядають: правові аспекти в історії прибуткових будинків [4]; механізм формування ринку оренди житла з визначенням основних тенденцій розвитку на основі аналізу соціально-економічних умов [7; 15]; основні вимоги до переобладнання прибуткових будинків для сучасних умов [6]; попит на житлові приміщення прибуткових будинків [16]; особливості відновлення кварталів історичної забудови, реставрації і пристосування пам'яток архітектури під сучасні функції [14]. Проте питання, що стосуються класифікаційних характеристик із містобудівних, функціонально-планувальних, конструктивних, архітектурно-художніх та інших параметрів, не були висвітлені. Доцільне створення порівняльної і нових класифікацій будівель для розробки шляхів адаптації прибуткових будинків до сучасних умов, а також пошуку моделей адаптацій, що визначило тему даної статті. ***Висновок.*** Проведене дослідження дозволило виявити на основі порівняльного аналізу історичного й фактичного стану прибуткових будинків істотні зміни за багатьма класифікаційними позиціями. Невідповідності застарілих класифікаційних характеристик сучасним будівельним вимогам, що пропонуються до житлового середовища, виконують роль маркерів шляхів подальшого використання (реновації) прибуткових будинків. На їх підґрунті запропоновані нові класифікації прибуткових будинків, а також варіанти адаптації будинків до сучасних кон'юнктурних напрямків у контексті основних архітектурно-містобудівних і функціонально-планувальних класифікаційних параметрів.

Ключові слова: *прибуткові будинки, пам'ятки архітектури місцевого значення, цінна історична забудова, реставрація пам'яток архітектури, класифікація, адаптація.*

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ АДАПТАЦИИ ДОХОДНЫХ ДОМОВ ЕКАТЕРИНОСЛАВА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ

ЦЫМБАЛОВА Т. А.[*], *асс.*

[*] Кафедра архитектурного проектирования и дизайна, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-88, e-mail: zimbalova@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-0854-0250

Аннотация. ***Постановка проблемы***. Начиная со второй половины XVIII века в крупных городах Европы части Украины, которая входила в состав Российской империи, получили распространение доходные дома (жилье, предоставляемое в аренду). В Екатеринославе, ставшем к началу XX века крупнейшим металлургическим центром метрополии, зафиксированы наивысшие показатели темпов роста населения и массовое строительство доходных домов [3, 13]. На сегодняшний день здания бывших доходных домов составляют более 80 % исторической застройки Днепропетровска. Преобладающая часть доходных домов в настоящее время имеет различные комбинаторики жилой и общественной функций. Их использование осуществляется по случайным схемам, при этом качественные и количественные показатели в большинстве случаев не согласуются с действующими нормами и правилами. Существует необходимость в проведении оценки ресурсов доходных домов с целью их дальнейшего использования, что определило актуальность данной статьи. ***Цель.*** Разработка особенностей архитектурно-планировочной адаптации зданий доходных домов на основании комплексного изучения факторов их формирования в структуре исторических кварталов и в контексте классификаций для современных условий. ***Анализ публикаций.*** Исследования авторов, посвященные доходным домам, рассматривают: правовые аспекты в истории доходных домов [4]; механизм формирования рынка аренды жилья с определением основных тенденций развития на основе анализа социально-экономических условий [7; 15]; основные требования к переоборудованию доходных домов для современных условий [6]; спрос на жилые помещения доходных домов [16]; особенности восстановления кварталов исторической застройки, реставрации и приспособления памятников архитектуры под современные функции [14].Однако вопросы, касающиеся классификационных характеристик по градостроительным, функционально-планировочным, конструктивным, архитектурно-художественным и другим параметрам, не были освещены. Целесообразным является создание сравнительной и новых классификаций зданий для разработки путей адаптаций доходных домов к современным условиям, а также поиска моделей адаптаций, что определило тему данной статьи. ***Вывод.*** Проведенное исследование позволило выявить на основе сравнительного анализа исторического и фактического состояния зданий доходных домов существенные изменения по многим классификационным позициям. Несоответствия устаревших классификационных характеристик современным строительным требованиям, предъявляемым к жилой среде являются маркерами путей дальнейшего использования (реновации) доходных домов. На их основе предложены новые классификации зданий доходных домов, а также варианты адаптации зданий к современным конъюнктурным направлениям в контексте основных архитектурно-градостроительных и функционально-планировочных классификационных параметров.

Ключевые слова: *доходные дома, памятники архитектуры местного значения, ценная историческая застройка, реставрация памятников архитектуры, классификация, адаптация.*

.FEATURES OF ARCHITECTURAL AND PLANNING ADAPTATION OF PROFITABEL HOUSES OF EKATERINOSLAV FOR MODERN CONDITIONS

TSIMBALOVA T.A. [*], *ass.*

[*]Department of Design and architectural engineering, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-88, e-mail: zimbalova@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-0854-0250

Summary. ***Problem statement.*** Since the second half of the eighteenth century in big cities of Europe, part of Ukraine entered into Russian Empire, the profitable houses were spread (housing to rent). Ekaterinoslav had become the biggest metallurgical center of monopoly by XX century, the highest population growth rates and mass construction of profitable houses was fixed.[3, 13]. Today these last profitable buildings make up more than 80 % of the historical buildings of Dnepropetrovsk. Nowadays the predominant part of profitable houses has the various combinatorics of residential and public functions. The use of them carry out on incidental chats , besides qualitative and quantitative indicators in the most cases with operating norms and rules are not reconciled. There is a necessity for realization of estimation of resources of profitable houses with the purpose of their further use, that was the reason for actuality of this article. ***Aim.*** Development of features of an architectural and planing adaptation of building of profitable houses with complex study of factors of their forming in the structure of historical block and in the context of classifications for modern terms. ***Analyzing of the resent research.*** Authors' studies devoted to profitable houses, legal aspects in history of profitable houses are considered [4], market formation mechanism of lease of property, with determination of the main tendencies of development with analysis of socio-economic conditions [7, 15],the main demands to re-equipment of profitable houses for modern conditions [6], the demand for housing of profitable houses[16], features of blocks of

historical buildings, restoration and adaptation of architectural monuments to modern functions [14] However, questions concerning the classification of the characteristics of town planning, functional and planning, structural, architectural, and other parameters were not shown. The creation of comparative and new classifications of buildings for development of ways of adaptations of profitable houses to modern conditions is expedient and according to this the theme the present article was determined. ***Conclude.*** On the basis of comparative analysis of historical and actual condition of buildings of profitable houses, the essential change on many classification positions of a study let to realize. Disparity of aged classification characteristics to modern building demands shown to dwelling surrounding are markers of further ways of profitable house use., New classifications of building of profitable houses were proposed, as well as adaptation variants to modern conjunctural directions in the context of the main architectural and town-planning and functional and planning classification parameters.

Keywords: *profitable houses, monuments of architecture of local importance, valuable historical building, restoration of monuments of architecture, classification, adaptation.*

Постановка проблемы. Начиная со второй половины XVIII века в крупных городах Европы и части Украины, которая входила в состав Российской империи, получили распространение доходные дома (жилье, предоставляемое в аренду). В Екатеринославе, ставшем к началу XX века крупнейшим металлургическим центром метрополии, зафиксированы наивысшие показатели темпов роста населения и массовое строительство доходных домов [3; 13]. На сегодняшний день здания бывших доходных домов составляют более 80 % исторической застройки города. Преобладающая часть доходных домов в настоящее время имеет различные комбинаторики жилой и общественной функций. Их использование осуществляется по случайным схемам, при этом качественные и количественные показатели в большинстве случаев не согласуются с действующими нормами и правилами. Существует необходимость в проведении оценки ресурсов доходных домов с целью их дальнейшего использования, что определило актуальность данной статьи.

Изучение исторического наследия в виде доходных домов ведется на основе учета социально-демографических, экономических и архитектурно-градостроительных аспектов, а также санитарно-гигиенических требований, норм пожарной безопасности, требований по энергосбережению, транспортному и пешеходному обслуживанию. Проводится анализ функциональных и объемно-пространственных характеристик зданий с позиции оценки их роли в историческом ядре Днепропетровска для совершенствования методики адаптации доходных домов с учетом тенденций их изменений на обозримое будущее.

Анализ публикаций. Исследования авторов, посвященные доходным домам, рассматривают: правовые аспекты в истории доходных домов [4]; механизм формирования рынка аренды жилья с определением основных тенденций развития на основе анализа социально-экономических условий [7; 15]; основные требования к переоборудованию доходных домов для современных условий [6]; спрос на жилые помещения доходных домов [16]; особенности восстановления кварталов исторической застройки, реставрации и приспособления памятников архитектуры под современные функции [14].

Однако вопросы, касающиеся классификационных характеристик по градостроительным, конструктивным, функционально-планировочным, архитектурно-художественным и другим параметрам, не были освещены. Целесообразным является создание сравнительной и новых классификаций зданий для разработки путей адаптаций доходных домов к современным условиям, а также поиска моделей адаптаций, что определило тему данной статьи.

Цель статьи. Разработка особенностей архитектурно-планировочной адаптации зданий доходных домов на основании комплексного изучения факторов их формирования в структуре исторических кварталов и в контексте классификаций для современных условий.

Изложение материала. После Октябрьской революции 1917 года в результате установления новых принципов распределения жилья в преобладающем большинстве квартир в доходных домах была применена коммунальная форма расселения, часть квартир передана различным учреждениям, существовавшие ранее частные мастерские, конторские, коммерческие и прочие заведения были ликвидированы.

В настоящее время в бывших доходных домах, составляющих основную часть жилого фонда центрального исторического района Днепропетровска (согласно историко-архитектурному опорному плану города 2007 г.), совмещаются жилая и общественная функции. Из сравнительной таблицы 1 видно, что на протяжении XX столетия по многим классификационным позициям произошли существенные изменения. Некогда периферийное расположение части доходных домов утратило прежнее значение в общегородском масштабе. Значительно повысился уровень обеспечения домов инженерным оборудованием. В результате капремонтов и реконструкций в некоторых зданиях изменились конструктивные схемы и материал несущих конструкций.

Таблица 1

Сравнительный анализ доходных домов по классификационным параметрам

1880-е годы – до 1917 года	Современное состояние: конец XX – начало XXI веков)
1. По месторасположению в городе	
– В центральной зоне (в центрально-прибрежном, центральном, нагорном, привокзальном районах); – в срединной зоне («Новые планы», Подгорная слобода); – в периферийной зоне (Чечеловка, Брянская – колония, Фабричная слобода, Павловская слобода, Новые Кайдаки, на левом берегу города [1].	– В центральной зоне исторического ядра города; – в срединной зоне исторического ядра города; – в периферийной зоне исторического ядра города; – в срединной зоне города (в историческом ареале «Брянская колония»); – в срединной и в периферийных зонах города, находящихся за пределами исторических ареалов [10].
2. По месторасположению относительно линий регулирования застройки	
– доходные дома, размещенные по красной линии улицы; – размещенные с отступом от красной линии; – размещенные в глубине квартальной застройки	– дома, расположенные по красной линии магистральных и жилых улиц; – дома, расположенные с отступом от красной линии магистральных и жилых улиц; – дома, имеющие внутриквартальное расположение
3. По градостроительному статусу (роли)	
– в качестве элемента, образующего ансамбль площади; – в качестве элемента, образующего ансамбль перекрестка; – в качестве элемента, образующего ансамбль периметральной квартальной застройки; – в качестве элемента, формирующего застройку дворового пространства	– в качестве элемента, образующего ансамбль площади; – в качестве элемента, образующего ансамбль перекрестка; – в качестве элемента, образующего ансамбль периметральной квартальной застройки ; – в качестве элемента, формирующего застройку дворового пространства
4. По типу планировочной организации в контексте социально-общественного статуса	
– особнякового типа («барские» и другие престижные квартиры); – секционного типа (квартиры для среднего класса, «меблированные» комнаты, дешевые квартиры, дешевые комнаты-«углы»)	– особнякового типа (элитные квартиры); – секционного типа (квартиры для граждан со средним уровнем достатка, для малообеспеченных граждан, комнаты в коммунальных квартирах)
5. По наличию элементов общественного обслуживания населения для района (города)	
– доходные дома с отсутствием элементов общественного обслуживания; – доходные дома с размещением коммерческо-бытовых, учебных, трактирных, финансовых, конторских, медицинских, мелкоартельных помещений в первых этажах и жилых помещений в верхних этажах; – доходные дома с размещением только общественных учреждений (учебных, коммерческих, финансовых, медицинских, культурно- просветительских, конторских, а также клубов, ресторанов, гостиниц)	– жилые дома с отсутствием элементов общественного обслуживания; – жилые дома с элементами общественного обслуживания; – дома, обеспечивающие только общественную функцию (офисно-административные,торгово-бытовые, финансово-юридические, учебные, культурно- просветительские, лечебно-оздоровительные учреждения, гостиницы, клубы, рестораны)

Окончание табл.1

6. По конструктивно-планировочной системе	
– с продольными несущими стенами; – с поперечными несущими стенами; – с комбинированным каркасом несущих стен (в том числе с внутренними колоннами, несущими перегородками)	– с продольными несущими стенами; – с поперечными несущими стенами; – с комбинированным каркасом несущих стен, в том числе с внутренними колоннами, несущими перегородками)
7. По материалу несущих конструкций	
– фундаменты: из бутового камня, из бутового камня с кирпичной облицовкой, кирпичные; ленточные; глубокого заложения (с устройством подвалов), мелкого заложения; – стены: однородные (из обыкновенного глиняного, цементно-песчаного, шлакового кирпича (с 1895 г.) [2]; облегченные и неоднородные (кирпично-засыпные, стены из деревянного каркаса с глинобитной забутовкой и наружной кирпичной обкладкой); – перекрытия: деревянные (по балкам), железобетонные мелкосборные; – крыши: кровельный материал – дерево, черепица керамическая и асбестоцементная, плитка асбестоцементная, листы металлические; скатные с наслонными стропилами – двухскатные, четырехскатные, комбинированные с включением купольных и шатровых элементов	– фундаменты: из бутового камня, из бутового камня с кирпичной облицовкой, кирпичные; ленточные, глубокого заложения (с устройством подвалов), мелкого заложения; – стены: однородные (из обыкновенного глиняного, цементно-песчаного, шлакового кирпича; облегченные и неоднородные (кирпично-засыпные, стены из деревянного каркаса с глинобитной забутовкой и наружной кирпичной обкладкой); – перекрытия: деревянные (по балкам), железобетонные (плиты); – крыши: кровельный материал – черепица керамическая и асбестоцементная, плитка асбестоцементная, металлочерепица, листы металлические, АЦВЛ и другие; скатные с наслонными стропилами, двухскатные, четырехскатные, комбинированные с включением купольных и шатровых элементов
8. По уровню обеспечения инженерным оборудованием	
– водопроводом (с 1869г.) в виде колонок, – в редких случаях с подачей воды в – квартиры с устройством водомеров [5]; – в редких случаях: канализацией (с 1914 г.), электричеством, телеграфом, телефоном, пароводоотоплением (с конца XIX в.) [5]	водоснабжением: холодным и горячим, централизованным и автономным, канализацией, газификацией, отоплением (централизованным и автономным), электричеством, телефоном, интернетом, различными энергосберегающими технологиями, охранным оборудованием
9. По архитектурно-художественным особенностям оформления фасадов, выполненных в различных историко-архитектурных стилях	
– в стиле эклектики; – в различных «псевдостилях»; – в различных направлениях стиля модерн	преобладающее большинство сохранившихся домов имеет статус памятников архитектуры местного значения, вновь выявленных памятников архитектуры и ценной исторической застройки.

Сохранившаяся затесненность застройки дворовых пространств представляет сложную градостроительную проблему, поскольку в большинстве случаев нарушаются требования, предъявляемые к жилым помещения М и придомовым территориям (инсоляция, аэрация, пожарная безопасность, санитарно-гигиенические нормы, инфраструктура двора, в том числе размещение автотранспорта и другие).

Особое значение среди доходных домов Екатеринослава занимают здания, получившие статус памятников архитектуры [10]. Их классификации, выведенные на основе обследования 117 зданий Екатеринослава – Днепропетровска, представлены в таблицах 2, 3, 4. Далее приводятся примеры доходных домов в статусе памятников архитектуры, играющих различную градостроительную роль в застройке исторического ядра города.

Характерные особенности зданий, имеющих угловое расположение:

1) застройка углового участка формируется угловым домом с протяженными фасадами, выходящими на пересекающиеся улицы примеры: ул. Выборгская № 9, пл. Октябрьская № 6, ул. Бабушкина № 49 и др.);

2) специфическая разновидность секционных домов, которые имеют протяженный фасад, ориентированный на одну из улиц, и торцевой фасад, выполненный с высоким уровнем архитектурно-художественной отделки; при этом оформление угловой части является акцентом в решении общей композиции здания (примеры: ул. Комсомольская № 5, ул. Короленко № 21, ул. Орловская № 7 и др.);

3) специфическая разновидность секционных домов без архитектурно-художественного выделения углового фрагмента здания (примеры: ул. Баррикадная № 2, № 9, ул. Горького № 8 и др.).

Таблица 2

Классификация зданий по градостроительным параметрам относительно их дислокации на территории зоны исторической застройки города

Здания домов	Примагистр. расположение по красной линии улицы		Расположение по красной линии жилой улицы		Размещение на площади		Угловое расположение		Внутриквартальное расположение	
							магистраль	Жилая улица		
всего	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во / %	кол-во / %	кол-во	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
117	40	34.2	33	28,2	7	6	13 / 11	17 / 14	3	2,6

Примерами внутриквартального расположения зданий являются: дома № 26 корп. 2 по ул. Чкалова, № 2 корп.1 по ул. Московской и № 12 по ул. Рогалева.

В ряде случаев один из корпусов здания ориентирован вдоль магистрали или жилой улицы, а остальные находятся в глубине дворового пространства (пример: ул. Серова № 15, ул. Ленина № 9, ул. Бабушкина № 55 – комплексы из жилых корпусов, замкнутых по периметру).

Примером крупного жилого комплекса, состоящего из отдельно расположенных зданий, являются четыре дома Первого Екатеринославского Домового Общества по ул. Комсомольской № 74.

Важным аспектом определения путей дальнейшего использования доходных домов является их обеспеченность придомовыми территориями, представленная в таблице 3.

Анализ состояния придомовых территорий на предмет соответствия нормативным показателям на основании «Настанови щодо розподілу територій мікрорайонів (кварталів) для визначення прибудинкових територій багатоквартирної забудови» [8] констатирует общий низкий уровень показателей качества жилой среды и внутриквартальных пространств. Отсутствие многих площадок (детских, спортивных, для отдыха и др.) в составе придомовых территорий объясняется объективными факторами: стесненными условиями и невостребованностью. Дворы большого количества домов (как памятников архитектуры, так и ценной исторической застройки) имеют запущенное состояние и психологически отталкивающее воздействие (пример: общий двор домов по ул. Красной № 8 и ул. Комсомольской № 14 и др.).

Положительными примерами организации дворовых пространств являются дома № 4 по ул. К. Либкнехта (дом – «Самсон») и № 15 по ул. Серова. Но в целом санитарно-гигиеническое состояние дворовых пространств на территории центрального исторического ареала находится на уровне, недалеком от антисанитарного.

Анализ состояния транспортного и пешеходного обслуживания домов в соответствии с ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» Зміна № 4 [12] показал, что во многих случаях дворовые пространства являются только местами для временного и длительного хранения автомобилей, в результате полностью отсутствует инфраструктура благоустройства двора (примеры: ул. Баррикадная – дворы домов № 9, 11, 11-а; ул. О. Гончара № 4 и др.).

В ряде случаев в домах с совмещенной общественно-жилой функцией жилой двор используется в качестве хозяйственного.

Чрезвычайно серьезной является проблема повышенной концентрации автомобилей в местах расположения деловых учреждений, высокая плотность временных парковок автомобилей на обочинах дорог и на тротуарах (примеры: ул. Южная № 2, ул. Артема № 18 и др.).

Таблица 3

Классификация зданий по качественному состоянию придомовой территории и степени транспортного и пешеходного обслуживания

Современная функция здания	Обеспечение придомовой территорией объекта				Транспортное обслуживание объекта			
	50 – 70 %	%	Выполнение нормы	%	50 – 70 %	%	Выполнение нормы	%
Жилая - 7 зданий (6 %)	2	28,5	5	71,5	3	42,9	3	42,9
Жилая и общественная - 62 здания (53 %)	8	12,9	16	25,8	11	17,5	2	3,2
Общественная – 38 зданий (32,5 %)	3	7,9	9	23,9	10	26,3	7	18,4
Всего – 117 зданий (в состоянии разрушения 10 зданий)	13	11,1	30	25,6	24	20,5	12	10,3

С целью сохранения архитектурно-пространственной организации среды исторической застройки города, с одной стороны, и наполнения ее современными функциями, с другой, предлагается ввести в состав придомовых территорий необходимые площадки: для отдыха, детские, спортивные, хозяйственные и другие, устройство озеленения, парковок автотранспорта, что будет соответствовать требованиям ДБН 360-92**[9].

Возможные версии для решения проблемы: создание подземной урбанистики, устройство зеленых садов на эксплуатируемых кровлях, устройство игровых площадок в надстроенных конструкциях, подземное размещение гаражей под внутриквартальными территориями.

Данные таблицы 4 подтверждают высокую архитектурно-художественную ценность зданий доходных домов, выполненных в различных архитектурных стилях, которые наглядно показывают развитие архитектурных направлений в городе в конце XIX – начале XX века.

Ссылаясь на показатели таблицы, можно отметить, что большое количество зданий – памятников архитектуры имеет значительную степень физического износа основных несущих конструкций, следствием чего является нарушение противопожарных и санитарно-гигиенических норм. В большинстве случаев у зданий отсутствуют расчетные вентиляционные каналы и ряд других инженерных элементов. Во многих случаях утрачены аутентичные лепные, металлические, деревянные и каменные декоративные элементы.

Проблема сохранения и оптимизации зданий бывших доходных домов как неотъемлемой части исторической застройки города приобретает с каждым днем все большую остроту.

Из-за реальной угрозы невозвратной потери многих зданий требуется принятие быстрых и профессиональных решений.

В качестве одного из путей реабилитации зданий бывших доходных домов в Днепропетровске может быть полезен многолетний опыт европейских стран в организации туристического бизнеса, а также городов Западной Украины. В первую очередь – это формирование зоны туристической деятельности (исторической направленности).

Учитывая неравномерное распределение ценных архитектурных объектов на территории

исторического ядра, туристическая трасса должна проходить в местах с их наибольшей концентрацией. Уникальный экспозиционный каркас в виде зданий, имеющих статус памятников архитектуры и ценной исторической застройки, выполненных в различных историко-архитектурных стилях, в наибольшей степени представлен на улице Комсомольской (более 50 зданий) [10]. Эта улица могла бы стать центральным участком маршрута с комплексной организацией специализированных (магазины по продаже сувенирной и региональной продукции, выставочные павильоны художественно-прикладных искусств) и сопутствующих (киоски по продаже продуктов питания, кафе) функций, а также устройством камерных уголков отдыха, (желательно сделать пешеходным участок между ул. К. Либкнехта и ул. Серова).

Таблица 4

Классификация зданий по степени сохранности несущих конструкций и принадлежности к историко-архитектурным стилям

Степень сохранности несущих конструкций	Планировочный тип здания		Историко-архитектурный стиль		
	особняк. типа	секцион. типа	псевдостили -55 зданий(47 %)	внестилевая эклектика -27 зданий(23 %)	модерн -35 зданий(29,9 %)
Здания, находящиеся в стадии разрушения - 10 (8,6 %)	3	7	3	5	2
Здания, которым требуются капремонт и реставрация - 26 (22,2 %)	2	24	11	10	5
Здания, в которых выполнены капремонт и реставрация - 33 (28 %)	10	23	21	3	9

В рамках комплексной организации туристической зоны параллельно должна решаться проблема приема и размещения гостей города. В этой связи оптимальным решением может быть создание недорогих гостиниц – хостелов. Принимая во внимание успешно применяемую практику устройства туристических гостиниц в старинных зданиях, автор предлагает размещение хостелов в бывших доходных домах после проведения реставрационно-восстановительных работ. Для этой цели могли бы служить здания, находящиеся в настоящее время в состоянии разрушения. Прежде всего это уникальные здания, причисленные к памятникам архитектуры (всего – 10) [10] и к ценной исторической застройке. В рамках данной статьи предлагается несколько различных вариантов размещения гостиниц:

1) Организация крупного комплексного объема по ул. Артема, состоящего из трех секций (дома № 22, 24 и 26) (рис. 1). Расположение сохранившегося фрагмента застройки на участке с активным уклоном обуславливает его эффектное визуальное восприятие.

Несмотря на разностилевую трактовку, шеренга фасадов составляет в целом гармоничное оригинальное единство. При этом особую ценность представляла бы панорама города, которой можно было бы любоваться из окон, а также со смотровой площадки, устроенной на крыше.

Устройство хостела в двух этажном здании по ул. Чкалова № 26, корп. 2 (рис. 2).

2) Этот дом, напоминающий сказочную декорацию, находится в глубине обширного двора, о чем невозможно догадаться, проходя рядом по улице Чкалова. Такое обстоятельство сыграло бы положительную роль при создании благоустройства внутридворового пространства. При этом было бы возможным в части двора создать рекреационную зону круглогодичного использования.

Рис. 1. Ул. Артема, дом № 26

Рис. 2. Ул. Чкалова, дом № 26, корп. 2

Рис. 3. Ул. Исполкомская, дом № 17

Рис. 4. Ул. Ленинградская, дом № 60

3) Создание гостиницы в доме № 17 по ул. Исполкомской (рис. 3).

Трехэтажное здание, выполненное в екатеринославском кирпичном «стиле», воспринимается в качестве визуального акцента на фоне исторического средового окружения, нетронутого современным строительством.

Сохранившаяся атмосфера старинного купеческого города, обладающая особым духовно-эмоциональным воздействием, должна использоваться в качестве мощного фокуса притяжения туристического внимания.

4) Устройство хостела в доме № 60 по ул. Ленинградской (рис. 4). По сравнению с предыдущим вариантом, небольшой двух этажный дом в стиле модерн является одним из редких уцелевших фрагментов исторического наследия данной прибрежно-промышленной зоны.

В течение последнего десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к изменению эксплуатационной функции зданий жилого фонда (как правило, в результате передачи домов из коммунальной собственности в частное владение). На основе анализа существующей практики модернизации доходных домов выявлены наиболее распространенные варианты, рассматриваемые с позиции основных классификационных параметров. В большинстве случаев

устройство новой функции в здании предполагает проведение капремонта и реставрации без изменения конструктивной системы – характерной мелкоячеистой структуры помещений (размещение офисов, мелкой торговли, медицинско-оздоровительных, финансово-юридических, клубных и других учреждений). Однако в ряде случаев к зданиям применяются реконструктивные мероприятия, в результате которых происходят:

- изменение градостроительного значения объекта адаптации. Главный фасад здания (или его фрагмент) в качестве исторической «маски» становится частью новой архитектурной композиции, образуя новый градостроительный акцент.

- изменение архитектурной, функционально-планировочной и конструктивной системы здания (при различных комбинациях пристраиваемых помещений).

Наиболее часто применяются:

- пристройка нового объема с расширением корпуса существующего здания (возможно устройство зального помещения);
- надстройка мансардного этажа (в одном или двух уровнях);
- надстройка одного или двух верхних этажей (в одном или двух уровнях).

К сожалению, иногда отреставрированные здания теряют свой первоначальный облик. Зачастую применяемые для реставрации штукатурки и покрасочные смеси закрывают декор кирпичных деталей и кладку и искажают художественно-эстетическое восприятие фасада здания.

Но более серьезной проблемой являются случаи нарушения закона [11] и снос исторически ценных зданий.

При дефиците свободных территорий для нового строительства, к сожалению, иногда это более рентабельный способ по сравнению с реабилитацией здания и его модернизацией. Зона исторического ядра не может быть законсервирована, однако новое строительство должно вестись с большой степенью осторожности и регулированием этажности.

Вывод. Проведенное исследование позволило выявить на основе сравнительного анализа исторического и фактического состояния зданий доходных домов существенные изменения по многим классификационным позициям.

Несоответствия устаревших классификационных характеристик современным строительным требованиям, предъявляемым к жилой среде, являются маркерами путей дальнейшего использования (реновации) доходных домов. На их основе предложены новые классификации зданий доходных домов, а также варианты адаптации зданий к современным конъюнктурным направлениям в контексте основных архитектурно-градостроительных и функционально-планировочных классификационных параметров.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Весь Екатеринославъ. Справочная книга. – Екатеринославъ : Изд. Л. И. Сатановскаго, 1913. – 302 с.
2. Гуляев Г. И. Очерки истории Екатеринослава. Кн. 2 (1887–2006) / Г. И. Гуляев, В. И. Большаков, В. С. Мороз. – Днепропетровск : ПГАСА, 2007. – С. 25.
3. Дніпропетровськ: віхи історії / [А. Г. Болебрух, І. Ф. Ковальова, І. С. Стороженко, М. Е. Кавун, В. І. Лазебник, В. Я. Яценко, В. В. Іваненко, О. А. Удод, О. В. Касьянов, К. В. Попова]. – Дніпропетровськ : Грані, 2001. – 256 с..
4. Кириченко О. В. Доходные дома. История и современность / О. В. Кириченко // Современное право. – 2010. - № 1. – С. 143–147.
5. Лазебник В. И. Неизвестная Екатеринославщина / В. И. Лазебник – Днепропетровск : Дніпрокнига, 2012. – С. 200, 269 – 270.
6. Лесникова Ю. Н. Доходные дома как среда, недвижимость и архитектурный жанр / Ю. Н. Лесникова // Архитектон: известия вузов. – 2012. - № 34 - Режим доступа : http://archvuz.ru/cont/299.
7. Малинина К. В. Строительство арендного жилья. История развития и современные тенденции / К. В. Малинина // Жилищное строительство. – 2013. - № 11. – Режим доступа : arhvus.ru.

8. Настанова щодо розподілу територій мікрорайонів (кварталів) для визначення прибудинкових територій багатоквартирної забудови : ДСТУ НББ.2.2-9:2013. - [Чинний від 2014-10-01]. – Київ : ДП «Дніпромісто», 2014. – 30 с. - (Державні будівельні норми України).
9. Планировка и застройка городских и сельских поселений : ДБН 360-92**. - [Введ. 2002-04-19]. – Киев : НИПИ градостроительства, 2002. – 98 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
10. Проект зон охорони культурної спадщини м. Дніпропетровська / В. В. Малий, М. М. Дьомін, М. П. Андрущенко, Л. Г. Попов. – Днепропетровск : ГлавАПУ, 2007. – 630 с.
11. Про охорону культурної спадщини : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 1805-III.. – Режим доступу: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1805-14.
12. Про затвердження Зміни № 4 ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 21 червня 2011 р. № 67. – Київ, 2011. – 8 с.
13. Ревский С. Б. О Екатеринославском кирпичном стиле, терминологии и научной этике / С. Б. Ревский // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. строит-ва и архитектуры – Днепропетровск, 2005. – Вып. 32, ч. 2 – С. 208 – 209.
14. Субботин О. С. Особенности регенерации кварталов исторической застройки. В 2 ч. / О. С. Субботин Жилищное строительство. – 2012. - № 10. – С. 22 – 25 ; № 11. – С. 26 – 29.
15. Суслова С. И. Доходные дома или жилые помещения, предоставляемые по договору найма в государственном или муниципальном жилищном фонде / С. И. Суслова // Жилищное право. – 2008. - № 5 – Режим доступа : http://www.stroi.ru.
16. Тарасова Ю. И. Строительство доходных домов в крупных городах Западной Сибири в конце XIX – начале XX века / Ю. И. Тарасова // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 9. –С. 79 – 85.

REFERENCES

1. *Ves' Ekaterinoslav. Spravochnaya kniga.* [All Ekatirinoslav. Reference book]. Ekaterinoslav, Izdatel'stvo Satanovskogo, 1913. 302 p. (in Russian).
2. Gulyaev G. I., Bolshakov V.I., Moroz V.S. *Ocherki istorii Ekaterinoslava* [Essays on history of Ekaterinoslav]. Vol. 2 (1887 – 2006). Dnepropetrovsk , PGASA, 2007. p. 25. (in Russian).
3. Bolerbukh A.G., Koval'ova I.F., Storogenko I.S. *Dnipropetrovsk: vikhy istorii* [Dnipropetrovsk: Sparbuoy of history]. Dnepropetrovsk, Grani, 2001. 256 p. (in Ukrainian).
4. Kirichenko O. V. *Dohodnye doma. Istoriya i sovremennost'* [Profitable houses. History and modernity]. Sovremennoe pravo – Modern law, 2010, no.1, pp. 143 – 147. (in Russian).
5. Lazebnik V. I. *Neizvestny Ekaterinoslav* [Unknown Ekaterinislav]. Dnepropetrovsk, Dniproknyga, 2012, pp. 200, 269 – 270. (in Russian).
6. Lesnikova Yu. N. *Dohodnye doma kak sreda, nedvizhemost' i arkhitekturnyi zhanr* [Profitable houses as surrounding, real estate and architectural genre]. Arhitekton: Izvestija Vuzov, 2012, no.34. (in Russian). Available at : http://archvuz.ru/cont/299.
7. Malinina K. V. Stroitel'stvo arendnogo zhyl'ya. Istoriya razvitiya i sovremennye tendentsii [Construction of rent housing. History of development and modern tendency]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* − House building. 2013, no.11. (in Russian). Available at : http://archvuz.ru.
8. *Nastanova shchodo rozpodilu terytoriy mikroraioniv dlia vuznachennia prubudynkovyh terytorii bagatokvartalnoi zabudovy. DSTU NBB. 2.2-9: 2013* [Guidance for assignment of territory blocks for determination of adjoining territory of multi flat building GOST 2.2-9:2013]. [chynny vid 2014.10.01.- dated 2014.10.]. (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy − State standards of civil engineering of Ukraine). Kyiv, Dnipromisto, 2014. 30 p. (in Ukrainian).
9. *Planirovka i zastroika gorodskihI sel'skih poseleniy DBN 360-92* [Planning and building of urban and country settling. SBN 360-92]. (Gosudarstvennye normy stroitel'stva Ukrainy - State standards of civil engineering of Ukraine).Kiev, NIPI gradostroitelstva. 2002. 98 p. (in Russian).
10. Maly V. V., Domin M. M., Andrushchenko M. P, Popov L. G *Proekt zon ohrannoi spadshchiny* [Project of guarding zones of culture heritag. of Dnipropetrovsk]. Dnepropetrovsk., GlavAPU−The main Achitectural Department, 2007. 630 p. (in Russian).
11. *Pro ohoronu kulturnoi spadshchiny. Zakon Ukrainy 17.02.2011* [About guarding of culture heritage. The law of Ukraine dated 17.02.0211 № 1803 III]. (in Ukrainian). Available at: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1805-14.
12. *Pro zatverdgennia zminy no. 4. GSN 360-92** Mistobuduvannia i zabudova miskih i silskih poselen planuvannia Nakaz Ministerstva Regionalnogo rozvytku, budivnytsva ta zhytlovo-komunalnogo gosppodarstva Ukrainy vid 21.06.2011 №* 67[About change affirmation no. 4. State standards of civil engineering of Ukraine 360-92** Town-planning, planning and building of cities and countries area. Order of the Ministry of Regional development, building and housing and communal services of Ukraine dated 21.06.2011 №.67]. Kyiv, 2011. 8 p. (in Ukrainian).
13. Revskiy S. B. *O ekaterinioslavskom kirpichnom stile, terminologii i nauchnoy etike.* [Ekaterinoslav brick style, terminology and scientific ethics]. *Stroitelstvo. Matarialovedenie, mashinostroenie. Sbornik nauchnzkh trudov-*

Building, material science, mechanical engineering, Collection of scientific paper. Dnepropetrovsk, no.32, part 2. 2005, pp. 208 - 209. (in Russian).

14. Subbotin O. S. *Osobennosti regeneratsii kvartalov istoricheskoi zastroiki* [Features of regeneration of block of historical building]. *Ghilishchnoe stroitel'stvo* – Housing building. 2012, no.10. pp. 22 - 25, no.11, pp. 26 - 29. (in Russian).
15. Suslova S. I. *Dohodnye doma ili zhilye pomeshcheniya, predostavlyaemye podogovoru naima v gosudarstvennom ili munitsipal'nom zhylishchom fonde* [Profitable houses and housing giving according to rent agreement in state or municipal fund]. Zhylishchnoe pravo Housing law. 2008, no. 5. (in Russian).
    Available at : http://www.center-bereg.ru/a1187.html.
16. Tarasova Yu. I. *Stroitel'stvo dohodnyh domov v krupnyh gorodov Zapadnoi Sibiri v kontse XIX - nachale XX veka* [Building of profitable houses in big cities of west Siberia in the end of XIX and beginning of XX centuries]. *Izvestija vuzov*. *Stroitel'stvo*- Proceedings of HEA. Building, 2012. no.9, pp. 79 – 85. (in Russian).

ISSN 2312-2676