

11. Коць О.О. Ризики науково-технічної підготовки виробництва в управлінні підприємствами машинобудування / О.О. Коць, І.В. Алексеев // Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки. – Сер.: Економічні науки. – 2009. – № 15. – С. 67-72.

12. Коць О.О. Структура риска НТПП и способы его оценки / О.О. Коць, И.В. Алексеев // Бизнес Информ. – Харьков : Изд-во "Инжэк". – 2009. – № 12(2). – С. 8-11.

Коць О.О. Критерии планирования научно-технической подготовки машиностроительного производства в условиях неопределенности

Рассмотрена суть планирования научно-технической подготовки машиностроительного производства в условиях неопределенности, критерии его проведения, показатели оценивания соответствующих критериев планирования. Предложен способ расчета показателя оценивания уровня адаптированности машиностроительного предприятия к условиям неопределенности на этапе научно-технической подготовки производства.

Ключевые слова: планирование, критерии, уровень адаптированности, научно-техническая подготовка производства, машиностроение.

Kots O.O. Criteria of planning of scientific and technical preparation of machine-building production In the conditions of vagueness.

In the article essence of planning of scientific and technical preparation of machine-building production is examined in the conditions of vagueness, criteria of its leadthrough, indexes of evaluation of the proper criteria of planning. Also the method of calculation of index of evaluation of level of adapted of machine-building enterprise was in-process offered to the terms of vagueness on the stage of scientific and technical preproduction.

Keywords: planning, criteria, level of adaptation, scientific and technical preproduction, engineer.

УДК 667.64:678.026 Доц. А.В. Букетов¹, д-р техн. наук; проф. П.Д. Стухляк¹, д-р техн. наук; доц. І.В. Чихіра, канд. техн. наук; доц. М.А. Долгов², канд. техн. наук

ВПЛИВ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА БЕНЗИНУ НА АДГЕЗІЙНУ ТА КОГЕЗІЙНУ МІЦНОСТІ ГРАДІЄНТНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Досліджено вплив середовища бензину на модуль пружності, когезійну й адгезійну міцності епоксидних одношарових і градієнтних захисних покриттів. Встановлено, що максимальними показниками фізико-механічних властивостей характеризуються градієнти покриття, сформовані на основі епоксидної діанової смоли і дисперсних часток коричневого шламу, діоксиду титану і карбїду кремнію. Обґрунтовано оптимальні технологічні режими формування градієнтних покриттів.

Ключові слова: властивості, покриття, смола.

Постановка проблеми. Полімерні композитні покриття (КП) широко використовують у різних галузях промисловості і машинобудуванні для захисту технологічного устаткування від корозії. При цьому відомо, що епоксидні КП відзначаються поліпшеними фізико-механічними і антикорозійними властивостями [1]. Автори [2, 3] показали, що дифузія середовища у матеріалі з покриттям відбувається двома напрямками:

¹ Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

² Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України (ІПміц НАН України)

- від місця стику "покриття – основа", внаслідок чого спостерігали розклинювальний ефект, який забезпечує зниження адгезійної міцності адгезиву до субстрату;
- через зовнішню поверхню покриття, що спричиняє набухання, а потім руйнування полімерного матеріалу.

Тому під час формування епоксидних КП доцільно спочатку наносити адгезійний шар, який забезпечує поліпшену взаємодію полімеру з металевою основою, а після цього – функціональний шар, який сприяє поліпшенню антикорозійних властивостей захисного покриття. Треба зазначити, що для поліпшення як адгезійних та когезійних, так і антикорозійних властивостей КП у епоксидний зв'язувач необхідно вводити полідисперсний двокомпонентний наповнювач за критичного вмісту. Це дасть змогу перевести майже весь об'єм матриці у стан зовнішніх поверхневих шарів, що істотно підвищує вміст гелі-фракції у ній, а отже, і антикорозійні властивості захисного покриття [4]. При цьому дисперсні частки, як і зовнішні поверхневі шари навколо них у матриці, є бар'єром до проникнення агресивного середовища ззовні. Виходячи з цього, дослідження впливу складу епоксидних покриттів і технології їх формування на адгезійні, когезійні, а отже, і антикорозійні властивості захисних покриттів під впливом агресивних середовищ, зокрема й бензину, є актуальною задачею сучасного матеріалознавства.

Мета роботи – дослідження впливу бензину на адгезійно-когезійні властивості епоксикомпозитних градієнтних покриттів.

Матеріали і методика дослідження. Як об'єкт досліджень обрано епоксидний олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для полімеризації епоксидних композицій використовували затверджувач ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78). У разі формування покриттів з рівномірним розподілом двокомпонентного полідисперсного наповнювача в епоксидний зв'язувач вводили частки коричневого шламу (КШ) з дисперсністю 63 мкм і вмістом 40 мас. ч., діоксиду титану з дисперсністю 10-20 мкм і вмістом 60 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас. ч. ПЕПА. У разі формування градієнтних покриттів вводили КШ і діоксид титану за того ж вмісту і додатково вводили карбід кремнію за вмісту 80 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидного олігомеру ЕД-20.

Покриття з рівномірним розподілом двокомпонентного полідисперсного наповнювача формували за такою технологією: дозування компонентів, гідродинамічне суміщення дисперсних часток і зв'язувача, введення затверджувача ПЕПА і затверджування композиції. Затверджували покриття за експериментально встановленим режимом. Далі досліджували зразки.

Градієнтні покриття формували за такою технологією:

- формування адгезійного шару товщиною 100 мкм, який містить частки КШ і діоксиду титану; витримка упродовж 2 год за температури $T = (293^{+2})$ К для забезпечення взаємодії між шарами градієнтного покриття;
- нанесення корозійностійкого шару товщиною 200 мкм не пізніше, ніж за 2 год після нанесення адгезійного шару, котрий містить карбід кремнію; витримка покриття упродовж 72 год за температури $T = (293^{+2})$ К.

Визначення міцнісних властивостей системи "покриття – основа" під час випробування на розтяг двох зразків. Запропоновано використати для виз-

начення міцнісних властивостей системи "покриття – основа" послідовне випробування двох зразків. В основу методики покладено короточасні статичні випробування на розтяг зразка з покриттям (рис. 1) і зразка без покриття. Плоский зразок без покриття використовували у вигляді основи для визначення механічних властивостей матеріалу. На наступному етапі випробувань розтягуванню піддають зразок з покриттям. Записують діаграми розтягування двох зразків. При цьому фіксують деформації, при яких відбувається відшарування покриття і його розтріскування.

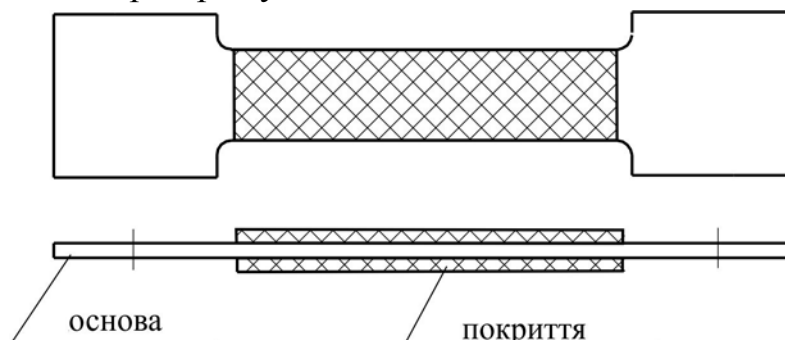


Рис. 1. Плоский зразок з покриттям

Безпосередньо під час експерименту з розтягування зразків визначали деформації зразків з покриттями та без покриття, а також розтягувальні зусилля, що відповідають цим деформаціям. Під час дослідження на розтяг визначали фізико-механічні властивості системи "покриття – основа" і її складників:

- модуль пружності покриття E_c визначали за методикою, описаною у [5];
- когезійну й адгезійну міцності визначали з виразів, наведених у [6], які дають змогу визначити величини максимальних нормальних і дотичних напружень у зразку під час розтріскування і відшарування покриття відповідно.

Зазначимо, що покриття наносили на сталь Ст.3. Випробовували на розтяг зразки, котрі піддавали витримці упродовж 30 діб на повітрі і у середовищі бензину за кімнатної температури. Випробування на розтяг виконували на розривній машині FM-1000.

Обговорення результатів експерименту. Технологічні режими формування досліджуваних покриттів наведено у табл. 1.

Табл. 1. Склад і режими витримки покриттів

№	Вид покриття	Наповнювач, вміст, мас. ч.		Середовище, у якому витримували зразки упродовж 30 діб після формування покриттів
		основний	додатковий	
1	Одношарове	-	-	Повітря
2	Одношарове	-	-	Бензин
3	Одношарове	КШ (40)	TiO ₂ (60)	Повітря
4	Одношарове	КШ (40)	TiO ₂ (60)	Бензин
5	Градiєнтне	КШ (40) + TiO ₂ (60) + SiC (80)		Повітря
6	Градiєнтне	КШ (40) + TiO ₂ (60) + SiC (80)		Бензин

Записували діаграми розтягування зразків з покриттями і без них (рис. 2). Фіксували деформації, за яких відбувається розтріскування і відшарування покриття. Внаслідок проведеного аналізу кривих деформування зразків

встановлено, що руйнування покриттів відбувається у пружній області основи у системі "покриття – основа" за деформацій 0,03-0,05 мм. Можна стверджувати, що середовище бензину погіршує фізико-механічні властивості усіх без винятку захисних покриттів. Показано, що на кривих деформації пружна область покриттів, витриманих упродовж 30 діб на повітрі, закінчується у межах навантажень 3,0-4,0 кН за деформації 0,01-0,02 мм, а для зразків, витриманих у середовищі бензину – у межах 2,6-3,0 кН за деформації 0,02-0,03 мм (рис. 2). Це свідчить про незначне зменшення когезійної міцності зразків після їх витримки у середовищі бензину, згідно з описаними вище температурно-часових режимів.

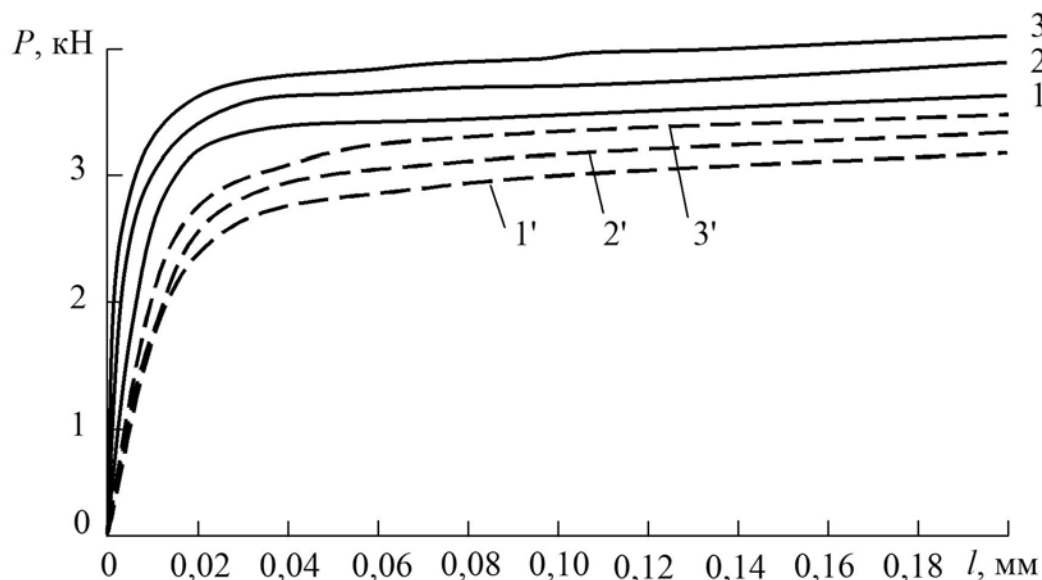


Рис. 2. Криві деформування зразків: 1, 1' – сталь + одношарове покриття (матриця); 2, 2' – сталь + одношарове покриття (матриця + КШ + TiO_2); 3, 3' – сталь + градієнтне покриття (матриця + КШ + TiO_2 + SiC). Суцільною лінією (1-3) позначено криві деформування зразків після витримки упродовж 30 діб у повітряному середовищі. Штриховою лінією (1'-3') позначено криві деформування зразків після витримки упродовж 30 діб у середовищі бензину.

Результати дослідження модуля пружності, когезійної та адгезійної міцностей покриттів наведено у табл. 2.

Табл. 2. Фізико-механічні властивості захисних покриттів

№	Товщина покриття	Модуль пружності, E_c , ГПа	Когезійна міцність, МПа	Адгезійна міцність, МПа
1	0,2	3,8	52,2	42,3
2	0,2	3,6	47,0	38,1
3	0,2	4,2	58,2	49,7
4	0,2	4,0	53,0	44,2
5	0,3	4,6	59,3	51,4
6	0,3	4,5	54,3	46,8

Доведено, що матеріал покриття на основі вихідної матриці (зразок № 1, табл. 1) після витримки на повітрі протягом 30 діб характеризуються модулем пружності $E_c = 3,8$ ГПа, при цьому їхня когезійна міцність становить 52,2 МПа, а адгезійна міцність – 42,3 МПа. Після витримки таких покриттів у середовищі бензину (зразок № 2) модуль пружності зменшується до $E_c =$

3,6 ГПа, когезійна міцність знижується до 47,0 МПа, а адгезійна міцність – до 31,1 МПа відповідно.

Зменшення адгезійної міцності викликається як фізичними, так і хімічними змінами внаслідок абсорбції бензину в полімерний матеріал або у місці адгезійного контакту (місце стику "покриття – основа"). Припускали, що хімічні зв'язки як у області адгезійного контакту, так і в об'ємі епоксидного КП руйнуються внаслідок внутрішнього (адсорбційно розклинювального) ефекту Ребіндера [7]. Такий ефект реалізується після витримки епоксидної матриці (зразок № 2) у бензині внаслідок адсорбції молекул у об'єм покриття. На початковому етапі досліджень спостерігали утворення мікротріщини, а надалі молекули бензину досягають місця тріщини, розмір якої є меншим, ніж два розміри молекул. Внаслідок молекули агресивного середовища під тиском сусідніх молекул розклинують тріщину. Показано, що тиск на стінки при вершині тріщини може досягати 10 МПа, що ініціює її розвиток [7]. Внаслідок цього руйнується спочатку на мікро-, а потім на макрорівні полімерне покриття основи.

Підтвердженням наведеному вище механізму руйнування є результати оптичного аналізу зовнішньої поверхні зразка № 2 (рис. 3, а). Показано, що після завершення досліджень відбулося відшарування значної частини покриття від основи. Це свідчить про невисокі адгезійні властивості матриці до металевої основи. Крім того, спостерігали характерне потемніння покриття, що свідчить про проникнення молекул бензину в об'єм матеріалу і, відповідно, про погіршення його когезійних властивостей. Результати якісного аналізу поверхні зразків добре узгоджуються з експериментальними даними фізико-механічних досліджень, наведених у табл. 2.



Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків після дослідження на розтяг:
а) № 2; б) № 4; в) № 6 (позначення див. у табл. 1)

Додатково встановлено, що використання одношарового покриття з дисперсними частками (зразок № 3), порівняно з матрицею (зразок № 1), після витримки на повітрі забезпечує підвищення модуля пружності (для зразків, витриманих на повітрі) від 3,8 до 4,2 ГПа, когезійної міцності від 52,2 до 58,2 МПа і адгезійної міцності від 42,3 до 49,7 МПа. Аналіз зовнішнього виг-

ляду зразка з одношаровим покриттям, яке містить дисперсні частки КШ і діоксиду титану дає змогу констатувати про наявність поперечних, стосовно напрямку сили навантаження, тріщин (рис. 3, б). Витримка таких покриттів у середовищі бензину зумовлює погіршення як їх адгезійних, так і когезійних властивостей. Це, як зазначалось вище, зумовлено насамперед проникненням середовища у об'єм покриття і частковим руйнуванням, завдяки розклинювальному ефекту Ребіндера, фізичних та хімічних зв'язків між макромолекулами олігомера та активними центрами на поверхні часток.

Показано, що максимальними показниками фізико-механічних властивостей характеризуються градієнти покриття, сформовані за варіантами 5 і 6 (табл. 1). Водночас їхня витримка у середовищі бензину призводить до незначного зменшення модуля пружності (від 4,6 до 4,5 ГПа), а когезійна й адгезійна міцності зменшуються від 59,3 до 54,3 МПа та від 51,4 до 46,8 МПа відповідно (табл. 2). Візуальний аналіз зразків після досліджень дає змогу стверджувати, що колір зразків після витримки у середовищі бензину майже не змінився, присутні лише поперечні, стосовно напрямку прикладання сили навантаження, тріщини у покритті (рис. 3, в). Отже, встановлено, що покриття градієнтного виду характеризується підвищеними адгезійними й когезійними властивостями внаслідок того, що внутрішня частина покриття підвищує адгезійну міцність, а зовнішня частина – захищає основу від корозії.

При цьому механізм незначного погіршення властивостей як одношарового, так і градієнтного покриттів можна пояснити на основі явища адсорбційної пластифікації або зовнішнього ефекту Ребіндера. Відомо, що макромолекули на поверхні твердого тіла (у нашому випадку покриття) мають некомпенсовані вільні зв'язки у напрямку зовнішнього середовища (у нашому випадку бензину) [7]. Маючи надлишкову енергію, макромолекули полімеру взаємодіють з молекулами бензину, при цьому їхня вільна енергія зменшується. Водночас знижується опір поверхневого шару (покриття загалом) пружному і пластичному деформуванню, швидше відбувається пластична течія, утворення мікро- та макропор. Зазначене вище експериментально було підтверджено перебігом такого виду адсорбційної пластифікації. Зокрема встановлено, що після витримки зразків з одношаровими і градієнтними покриттями у бензині, порівняно з повітряним середовищем, пружна область закінчується за менших сил навантаження, при цьому деформації, характерні для початку області пластичної деформації, за величиною також зменшуються (рис. 1). Водночас варто зазначити, що витримка зразків із градієнтними покриттями (зразок № 6) у бензині, порівняно з повітряним середовищем, призводить до незначного погіршення властивостей покриттів: модуль пружності зменшується у межах похибки експерименту (на 0,1 ГПа), а когезійна й адгезійна міцності зменшуються на 5,0 та 4,6 МПа відповідно. Отримані результати є підтвердженням перебігу механізму адсорбційної пластифікації при витримці зразків з градієнтним покриттям у середовищі бензину. Можна стверджувати, що така зовнішня дія неістотно впливає на погіршення механічних властивостей захисних градієнтних покриттів, які, своєю чергою, можна рекомендувати для захисту технологічного обладнання у середовищі бензину.

Висновки. У роботі на основі експериментальних досліджень встановлено таке:

1. Агресивне середовище бензину неістотно впливає на фізико-механічні властивості епоксидних захисних покриттів, які використовують для захисту технологічного устаткування у різних галузях промисловості. Доведено, що після витримки захисних покриттів, сформованих на сталі Ст.3, у середовищі бензину, порівняно з повітрям, модуль пружності зменшується від 3,8-4,6 до 3,6-4,5 ГПа, а когезійна й адгезійна міцності – від 52,2-59,3 до 47,0-54,3 МПа та від 42,3-51,4 до 38,1-46,8 МПа відповідно.

2. Максимальними показниками фізико-механічних властивостей характеризуються градієнти покриття, сформовані на основі епоксидної діанової смоли (100 мас. ч.), затверджувача ПЕПА (10 мас. ч.) і дисперсних часток коричневого шламу (40 мас. ч.), діоксиду титану (60 мас. ч.) і карбіду кремнію (80 мас. ч.). Після витримки градієнтних покриттів у середовищі бензину упродовж 30 діб отримано такі показники фізико-механічних властивостей: модуль пружності – 4,5 ГПа, когезійна міцність – 54,3 МПа, адгезійна міцність – 46,8 МПа. Розроблені покриття можна рекомендувати для захисту технологічного обладнання, що експлуатується у середовищі бензину.

Література

1. **Ліцов М.** Застосування полімеризаційноздатних рідких систем та двошарових полімерних стрічок з активною поверхнею для протикорозійного захисту трубопроводів / М. Ліцов, А. Ліцов, О. Максимова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2004. – Т. 1, № 4. – С. 396-400.
2. **Букетов А.В.** Фізико-хімічні процеси під час формування епоксикомпозитних матеріалів / А.В. Букетов, П.Д. Стухляк, Є.М. Кальба. – Тернопіль : Вид-во "Збруч", 2005. – 182 с.
3. **McBrierty V.J.** Understanding hydrated polymers: the perspective of NMR / V.J. McBrierty, S.J. Martin, F.E. Karasz // Journal of molecular liquids. – 1999. – Vol. 80, № 2-3. – PP. 179-205.
4. **Стухляк П.Д.** Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов. – Тернопіль : Вид-во "Збруч". – 2009. – 237 с.
5. **Долгов Н.А.** Метод определения модуля упругости газотермических покрытий / Н.А. Долгов // Порошковая металлургия. – 2004. – № 7/8. – С. 110-115.
6. **Уманский Э.С.** Условия адгезионной и когезионной равнопрочности жаростойких покрытий / Э.С. Уманский, Б.А. Ляшенко // Космические исследования на Украине. – 1975. – Вып. 6. – С. 58-64.
7. **Богданович П.Н.** Трение и износ в машинах / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак : учебник [для студ. ВУЗов]. – Мнинск : Изд-во "Выш. шк.", 1999. – 374 с.

Букетов А.В., Стухляк П.Д., Чыхира И.В., Долгов Н.А. Влияние агрессивной среды бензина на адгезионную и когезионную прочность градиентных полимерных покрытий

Исследовано влияние среды бензина на модуль упругости, когезионную и адгезионную прочности эпоксидных однослойных и градиентных защитных покрытий. Установлено, что максимальными показателями физико-механических свойств характеризуются градиентные покрытия, сформированные на основе эпоксидной диановой смолы и дисперсных частиц коричневого шлама, диоксида титана и карбида кремния. Обоснованы оптимальные технологические режимы формирования градиентных покрытий.

Ключевые слова: свойства, покрытие, смола.

Buketov A.V., Stuhlyak P.D., Chihira I.V., Dolgov M.A. Influencing of a severe atmosphere of petrol on adhesive and cohesive strength gradient polymer coatings

Influencing of environment of petrol on modulus of elasticity, cohesive and adhesive strength epoxy single-layer and gradient protective coatings is investigated. It is erected that by the maximum value of physical-mechanical properties are have gradient coatings, formed on the basis of epoxy resin and dispersible particle of a brown slime, dioxide of the titan and silicon carbide. Optimum technological modes of forming gradient coatings are substantiated.

Keywords: properties, coating, resin.

УДК 674:621.928.93

*Викл. А.В. Ляшеник, канд. техн. наук;
викл. Л.М. Дорундяк; ст. викл. Ю.Р. Дадак, канд. техн. наук;
викл. В.М. Крупа – Коломийський політехнічний коледж*

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИКЛОНІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ДЕРЕВООБРОБНОЇ ГАЛУЗІ

Проаналізовано причини спаду популярності циклонів. Описано вимоги до таких апаратів та їх місце у структурі сучасного деревообробного підприємства. Проведено порівняльний аналіз переваг та вад різних типів знепилювачів, які застосовують в деревообробці. Визначено перспективи використання повітроочищувальних систем на базі циклонних сепараторів.

Ще десять років тому на промислових підприємствах деревообробної галузі циклони були неодмінним атрибутом [1-4]. На великих підприємствах використовували централізовану схему повітроочищення. Аспіраційне повітря від кількох деревообробних цехів очищувалося в одній повітроочищувальній установці, яку було розроблено на базі циклонів, як це можна бачити на прикладі Коломийського деревообробного заводу (рис. 1, 2). Останнім часом циклони, як пристрої для очищення аспіраційного повітря на деревообробних підприємствах, використовують дедалі рідше.

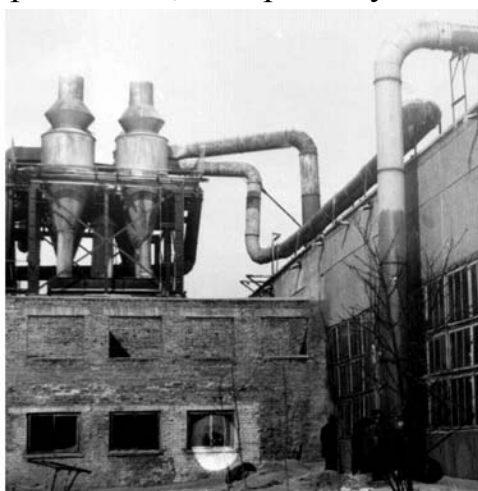


Рис. 1. Циклони для очищення аспіраційного повітря від д/о цехів

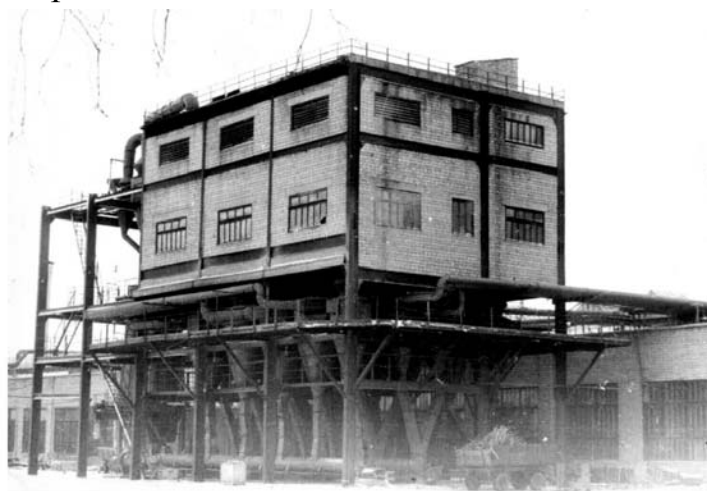


Рис. 2. Централізована повітроочисна установка на базі циклонів

У цьому дослідженні зроблено спробу визначити причини зниження популярності циклонів, проаналізувати їх місце в структурі сучасного деревообробного підприємства і вивчити доцільність та межі їх застосування. Переваги циклонів є загальновідомі: простота конструкції; відсутність рухомих частин; простота у обслуговуванні; довговічність.