

вок; прогрів деревини до температури $t_0 = t_c - 3^\circ\text{C}$; пропарювання визначеної тривалості; охолодження матеріалу.

Табл. 3. Режими пропарювання букових пиломатеріалів з метою зміни кольорової насиченості

№ режиму	Товщина матеріалу S_1 , мм	Параметри середовища при пропарюванні	Зміна кольорової насиченості H , % відносно еталона за тривалості пропарювання τ , год			
			20	40	60	80
ТН-01	до 25 мм	$P = 0,02 \dots 0,05 \text{ Мпа}$ $t_c = 95 \dots 98^\circ\text{C}$ $\varphi = 100 \%$	4	8	14	18
ТН-02	вище 25 до 32 мм		5	12	18	24
ТН-03	вище 32 до 40 мм		6	15	22	32
ТН-04	вище 40 до 50 мм		8	18	28	40
ТН-05	вище 50 до 60 мм		12	24	38	50
ТН-06	вище 60 до 75 мм		16	32	48	60

Висновок. Проведено експериментальні дослідження пропарювання дерев'яних конструкцій з метою покращення їх подальшого просочування вогнезахисними засобами. Це дало змогу визначити вплив теплового оброблення на динаміку зміни фізико-механічних властивостей деревини. Внаслідок досліджень вибрано оптимальні режими пропарювання, які зберігають якісні фізико-механічні показники, такі як запобігання втратам деревини під час зберігання та транспортування, вирівнювання забарвлення або надання деревині потрібно-го кольору, покращення міцності і пластичності, пришвидшення подальшого сушіння.

Література

- ГОСТ 30219-95. Древесина огнезащитная. Общие технические требования. Методы испытаний. Транспортирование и хранение.
- Кравець І.П. Покращення просочування дерев'яних конструкцій вогнезахисними покриттями методом їх теплового оброблення / І.П. Кравець, А.П. Кушнір, Л.І. Кравець. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД, 2014. – № 25. – С. 53-57.
- Николов С. Изменение на дървесината при пропарване / С. Николов, Н. Делийски. – София : Изд-во "Техника", 1985. – 174 с.
- Николов С. Пропарване на дървесината / С. Николов, А. Райчев, Н. Делийски. – София : Изд-во "Земиздат", 1980. – 216 с.
- Билей П.В. Технология камерной сушки твёрдых лиственных пород : дисс. ... д-ра техн. наук / П.В. Билей; ДУ "Львівська політехніка". – Львов, 1993. – 314 с.

Надійшла до редакції 26.05.2016 р.

Кравець І.П., Кушнір А.П., Шаповалов О.В. Выбор оптимальных режимов тепловой обработки как подготовительного этапа перед огнезащитой древесины

Для качественного просачивания древесины огнезащитными средствами проведение предварительная ее тепловая обработка. В этом исследовании использован такой вид обработки, как пропаривание. Очень важно, чтобы во время предварительного приготовления деревянных заготовок для огнезащиты, не потеряли естественных положительных качеств древесины. Определено влияние тепловой обработки на динамику изменения физико-механических качеств древесины. В результате экспериментальных исследований выбраны оптимальные режимы пропаривания, которые сохраняют качественные физико-механические показатели, такие как: предотвращение потерь древесины при сбережении и транспортировании, выравнивание окраски или предоставление

древесине необходимого цвета, улучшение прочности и пластичности, ускорение последующей сушки.

Ключевые слова: огнезащитные средства, тепловая обработка, пропаривание, физико-механические показатели, оптимальные режимы.

Kravets I.P., Kushnir A.P., Shapovalov O.V. The Selection of Optimal Regimes of Heat Treatment as a Preparatory Step before Fire Protection of Wood

For high-quality impregnation of wood by flame retardant means it is pre-heat treated. In this case we use this type of finishing, like steaming. It is very important not to lose the positive qualities of natural wood during the preliminary preparation of the wood for the fire protection. The conducted research allowed to determine the influence of heat treatment on the dynamics of changes in physico-mechanical properties of wood. As a result of experimental studies of the selected optimal modes of curing that maintain high-quality physical and mechanical properties, such as the prevention of timber losses during storage and transportation, alignment, color, or giving the wood the desired color, the improvement of strength and plasticity, accelerate subsequent drying.

Keywords: fireproof coverage, thermal treatment, steaming thoroughly, physical and mechanical performance, optimal regimes.

УДК 621.643

ВПЛИВ ГАЗОГІДРАТІВ НА ОПІР ВТОМІ МАТЕРІАЛУ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ПРОМИСЛОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

М.П. Мазур¹, Р.С. Грабовський², Л.Я. Побережний³, М.О. Карпаш⁴, А.В. Грищанчук⁵

Причиною небезпечного стану, а в окремих випадках руйнування газопроводів є утворення на зовнішній або внутрішній поверхні труби корозійно-втомних тріщин, спричинене експлуатаційними циклічними навантаженнями. Згідно з даними діагностичного контролю такі тріщини зароджуються на дні корозійних виразок, технологічних рисок тощо. Проведено втомні випробовування зразків трубної сталі 20 після експозиції у газогідраті. Встановлено, що зменшення довговічності становить від 15 до 25 %, а з урахуванням деградації матеріалу сягає до 2,5 раза, що свідчить про потребу врахування гідратного чинника в оцінюванні залишкового ресурсу.

За результатами випробовувань на тріщиностійкість для зразків із сталі 20 визначено критичні розміри тріщини. Показано, що для труб після 31 року експлуатації критичний розмір тріщини зменшується на 21 %. Визначено границю плинності досліджуваних зразків за запропонованою методикою. Результати загалом узгоджуються із промисловою практикою: границя плинності знизилась незначно протягом всього терміну експлуатування.

Ключові слова: газогідрати, внутрішньотрубна корозія, ресурс роботи, неруйнівне визначення границі плинності, критичні розміри тріщини.

Вступ. Фізико-механічні характеристики сталей, поза сумнівом, є визначальними з погляду експлуатаційних властивостей металоконструкцій довготривалої експлуатації. У загальному випадку можна стверджувати, що їх невідповідність умовам експлуатування призводить до нагромадження пошкоджень

¹ доц. М.П. Мазур, канд. фіз.-мат. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

² проф. Р.С. Грабовський, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

³ проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

⁴ проф. М.О. Карпаш, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

⁵ асист. А.В. Грищанчук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу

та утворення дефектів типу порушення суцільності, їх нагромадження та збільшення з подальшим невідворотним руйнуванням, оскільки природні процеси деградації фізико-механічних характеристик неможливо спинити, або виведення конструкції з експлуатації. Проте потрібні фізико-механічні характеристики сталей формуються не тільки хімічним складом, а й режимом їх термічного оброблення – при цьому для формування такого складного хімічного зв'язку метал нагромаджує значну кількість теплової енергії. З часом, за впливу зовнішніх умов експлуатування, ця нагромаджена енергія розсіюється, внаслідок чого хімічний зв'язок слабне – змінюється мікроструктура, а далі фізико-механічні характеристики.

Стосовно систем трубопровідного транспорту в нафтогазовій промисловості цей взаємозв'язок первинних фізико-механічних характеристик з умовами навколишнього середовища, які зумовлюють їх зміну, можна зобразити схемою (рис. 1).

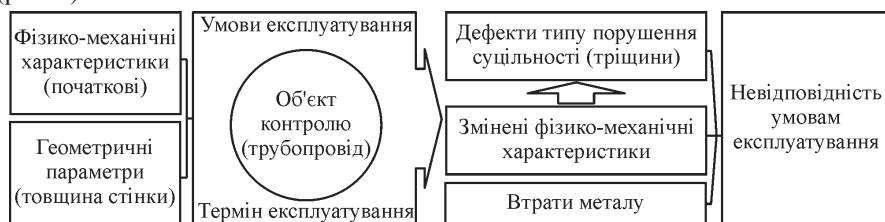


Рис. 1. Схема взаємозв'язків умов експлуатування з параметрами, що характеризують технічний стан лінійної частини магістральних трубопроводів

Причиною небезпечного стану, а в окремих випадках [1, 2] руйнування газопроводів є утворення на зовнішній або внутрішній поверхні труби, корозійно-втомних тріщин, спричинене експлуатаційними циклічними навантаженнями. Згідно з даними діагностичного контролю такі тріщини зароджуються на дні корозійних виразок, технологічних рисок тощо. пульсуючого тиску такі тріщини з часом виходять на поверхню, утворюючи наскрізні тріщини.

Оцінюючи цілісність трубопроводу з наскрізною тріщиною, варто однак мати на увазі, що можлива реалізація двох сценаріїв. У першому випадку можливе утворення "свища" – наскрізного отвору стабільного розміру, у другому – катастрофічне (неконтрольоване) поширення тріщини вздовж твірної труби.

Мета роботи – встановити вплив терміну експлуатації та газогідратних утворень на втомні характеристики матеріалу промислових трубопроводів

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом досліджень вибрано промислові газопроводи зі сталі 20 на пізній стадії експлуатації.

Для визначення умов руйнування труб промислових газопроводів потрібно, по-перше, мати експериментальні дані, за яких відбувається катастрофічне руйнування металу труби, по-друге – розрахункові дані про критичні розміри наскрізної тріщини, утвореної під впливом експлуатаційного навантаження. Зауважимо, що початок поширення наскрізної тріщини у стінці труби потрібно оцінювати за енергетичним [3] критерієм руйнування: тріщина починає рости, якщо інтенсивність енергії J_* , що звільнилася, досягає критичної величини J_c :

$$J_* = J_c. \tag{1}$$

Для оцінювання катастрофічного руйнування трубопровідної сталі використано методику [4], яка дослідним шляхом дає змогу визначити його критичну тріщиностійкість J_c на основі експериментально отриманої діаграми руйнування зразків "зусилля-прогин" та обчислити значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Jc} та визначити за допомогою співвідношення

$$K_{Jc} = \sqrt{\frac{J_c \cdot E}{(1 - \mu^2)}}, \tag{2}$$

де: J_c – критична тріщиностійкість; E – модуль Юнга ($E = 10^{11}$ Па); μ – коефіцієнт Пуассона (для низьколегованих сталей $\mu = 0,3$).

Оцінювання цілісності трубопроводу з наскрізною тріщиною (рис. 2, а) проведено шляхом порівняння її розміру $2a_t^*$ із обчисленим за формулою (3) розміром наскрізної критичної тріщини $2a_c$, визначеної за критерієм тріщиностійкості [4]:

$$a_c = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{K_{Jc}}{F_I \cdot \sigma_p} \right)^2, \tag{3}$$

де: $F_I = 1 + 0,072449 \cdot \lambda + 0,64856 \cdot \lambda^2 - 0,2327 \cdot \lambda^3 + 0,038154 \cdot \lambda^4 - 0,0023478 \cdot \lambda^5$; σ_p – максимальні розтягувальні напруження; $\sigma_p = \frac{P_{\max} R}{t}$; $\lambda = \frac{a_{K_I}}{\sqrt{R \cdot t}}$; a_{K_I} – півдовжина наскрізної тріщини.

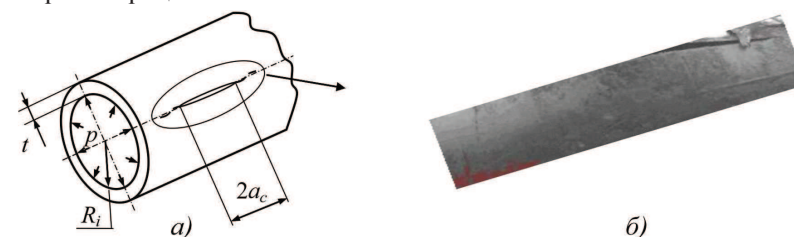


Рис. 2. Схематичне подання наскрізної корозійно-втомної тріщини (а) у стінці труби та наслідки аварій трубопроводів, спричинені її подовжнім розвитком (б)

Результати дослідження. Значення довжини тріщини $2a_c$, за якого розпочинається процес спонтанного поширення тріщини вздовж осі труби, вважали критичним.

Важливо також прогнозувати вплив експлуатаційних чинників, зокрема газогідратних утворень, на втомну довговічність, і, як наслідок – на залишковий ресурс промислових газопроводів. Раніше розпочато дослідження деградації втомних характеристик матеріалу труб після експозиції у газових гідратах [4], за результатами яких встановлено, що зменшення довговічності становить від 15 до 25 %, а з урахуванням деградації матеріалу сягає до 2,5 раза, що свідчить про потребу врахування гідратного чинника в оцінюванні ресурсу. Водночас різниця довговічностей для зразків матеріалу труб з однаковим терміном експлу-

атації не є значною, а головним джерелом небезпеки руйнування труби є глибокі корозійні ураження та спричинена ними концентрація напружень на дні корозійних виразок (рис. 3). Разом з тим аналіз кінетики деформації свідчить про збільшення відносної тривалості завершальної ділянки кривої, що відповідає розвитку втомної тріщини. Тому для вивчення особливостей механіки руйнування матеріалу труби проведено випробування на тріщиностійкість.

Обговорення результатів дослідження. Досліджували фрагменти труби (219×7,8 мм), що експлуатувалися на нафтогазових промислах Західної України (м. Долина) 31 рік, а також фрагменти труби у стані поставки (нової) (219×8 мм). Робочий тиск $P = 3,5$ МПа. Із фрагментів труб промислових газопроводів вирізали по чотири зразки розміром $200 \times 10 \times t$ мм (рис. 4, 5).

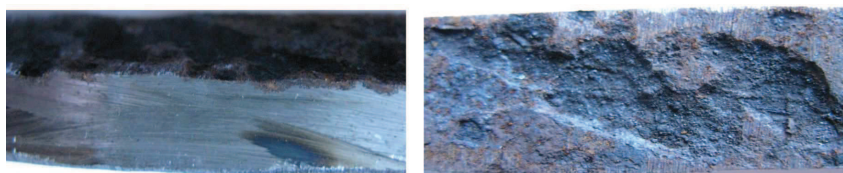


Рис. 3. Внутрішня поверхня експлуатованої труби викидної лінії свердловини



Рис. 4. Загальний вигляд зразка до (а) та після (б, в) експерименту з дослідження умов спонтанного руйнування трубної сталі 20

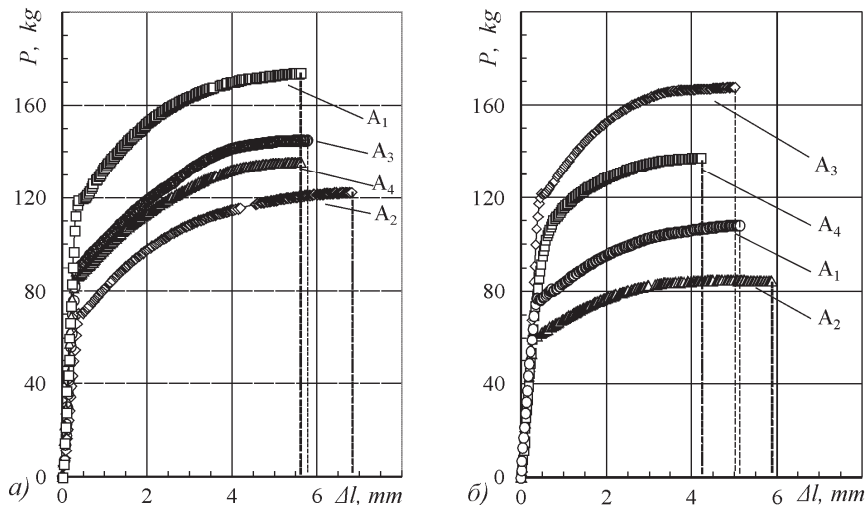


Рис. 5. Діаграма деформування $P - \Delta l$ зразків із фрагментів неексплуатованої ($D = 219$ mm, $t = 8$ mm) (а) та експлуатованої ($D = 219$ mm, $t = 7,8$ mm) (б) труб

Оцінювання умов, за яких відбувається катастрофічне руйнування металу труб, здійснено за методикою [5], експериментально визначаючи величину J_{Ic} . При цьому оцінювали роботу A , витрачену на деформування зразка з наведеною тріщиною l_{cep} як елемента конструкції, за якої він втрачає свої несні властивості, віднесено до нетто площі деформованої поверхні зразка S_f :

$$J_{Ic} = \frac{A}{S_f} \quad (4)$$

Подані критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень K_{Jc} характеристики критичної тріщиностійкості (табл. 1) за експериментально отриманими значеннями величини J_{Ic} обчислювали за допомогою рівняння (2).

Табл. 1. Значення критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{Jc} та критичних розмірів тріщини $2a_c^{cep}$

Зразок		S_f, mm^2	$K_{Jc}, MPa\sqrt{m}$	$K_{Jc}^{cep}, MPa\sqrt{m}$	$2a_c^{cep}, mm$
Нова труба	1	47,04	198,0	196,6	366,0
	2	38,00	198,9		
	3	38,22	198,8		
	4	38,00	190,8		
31 рік експлуатації	1	37,83	165,4	166,1	302,0
	2	33,00	170,6		
	3	48,00	168,7		
	4	42,14	159,6		

Використовуючи рівняння (3), обчислюємо мінімальні розміри наскрізної критичної тріщини $2a_c$ для труб з різним терміном експлуатації. Дані розрахунків подано в табл. 1. Також досліджено фізико-механічні характеристики згаданих зразків з метою визначення границі плинності за методом [6, 7]. Суть використаного методу полягає у вимірюванні неруйнівним способом характеристик, що пов'язані із питомим електричним опором та теплопровідністю. У табл. 2 наведено значення питомого електричного опору, теплопровідної характеристики, типу структури і границі плинності.

Табл. 2. Відомості щодо структурно-чутливих параметрів

№ зразка (марка сталі)	Теплопровідна х-ка, ум.од.	Питомий ел.опір, нОм×м	Добуток теплопровідної характеристики та питомого електричного опору	Границя плинності, МПа	Тип структури
Новий	6,435	412	2651,2	491,2	Перлітна
Експлуатований	6,223	398	2476,8	472,9	Перлітна

Висновки. Проведено втомні випробування зразків трубної сталі 20 після експозиції у газогідраті. Встановлено, що зменшення довговічності становить від 15 до 25 %, а з урахуванням деградації матеріалу сягає до 2,5-раза, що свідчить про потребу врахування гідратного чинника в оцінюванні залишкового ресурсу. За результатами випробувань на тріщиностійкість для

зразків із сталі 20 визначено критичні розміри тріщини. Показано, що для труб після 31 року експлуатації критичний розмір тріщини зменшується на 21 %.

Визначено границю плинності досліджуваних зразків за запропонованою методикою. Результати загалом узгоджуються із промисловою практикою: границя плинності знизилась незначно протягом всього терміну експлуатації. Показано, що вплив газогідратів на довговічність зразків трубної сталі в стані поставки є незначним і проявляється насамперед для труб після 30 років експлуатації.

Література

1. Мазур М.П. Особливості корозії промислових трубопроводів під впливом газогідратів / М.П. Мазур, Л.Я. Побережний // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля : зб. наук. праць. – 2013. – С. 167-173.
2. Красовський А.Я. Оцінка залишкового ресурсу трубопроводу, ушкодженого стресс-корозією / А.Я. Красовський, І.В. Ориняк, І.В. Лохман // Трубопровідний транспорт : зб. наук. праць. – 2011. – № 2 (68). – С. 18-21.
3. Панасюк В.В. Механіка квазіхрупкого руйнування матеріалів / В.В. Панасюк. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1991. – 416 с.
4. Побережний Л.Я. Вплив газогідратів на довговічність сталі трубопроводу / Л.Я. Побережний, А.В. Грищанчук, В.В. Грищанчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8. – С. 226-231.
5. Грабовський Р.С. Оцінка умов руйнування трубопроводів тривалої експлуатації / Р.С. Грабовський, О.М. Лепак, М.П. Мазур, І.Я. Федорович, Р.А. Барна // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу : зб. наук. праць. – 2015. – № 1(38). – С. 46-53.
6. Карпаш М.О. Дослідження взаємозв'язку механічних характеристик, мікроструктури та інформативних параметрів неруйнівного контролю / М.О. Карпаш // Техническая диагностика и неразрушающий контроль : сб. науч. тр. – К. : Изд-во Междунар. ассоциации "Сварка", 2012. – № 1. – С. 42-48.
7. Пат. UA 87240. Спосіб неруйнівного визначення механічних характеристик сталей / М.О. Карпаш, Є.Р. Доценко, О.М. Карпаш (Україна). – Опубл. 25.06.2009., Бюл.№ 12, 2009 р.

Надійшла до редакції 18.05.2016 р.

Мазур М.П., Грабовський Р.С., Побережний Л.Я., Карпаш М.О., Грищанчук А.В. Влияние газогидратов на сопротивление усталости материала длительноэксплуатируемых промышленных трубопроводов

Причиной опасного состояния, а в отдельных случаях разрушения газопроводов является образование на внешней или внутренней поверхности трубы коррозионно-усталостных трещин, вызванное эксплуатационными циклическими нагрузками. Согласно данным диагностического контроля такие трещины зарождаются на дне коррозионных язв, технологических рисков и т. п. Проведены усталостные испытания образцов трубной стали 20 после экспозиции в газогидрате. Установлено, что уменьшение долговечности составляет от 15 до 25 %, а с учетом деградации материала достигает 2,5 раза, что свидетельствует о необходимости учета гидратного фактора при оценке остаточного ресурса.

По результатам испытаний на трещиностойчивость для образцов из стали 20 определены критические размеры трещины. Показано, что для труб после 31 года эксплуатации критический размер трещины уменьшается на 21 %. Определены границы текучести исследуемых образцов по предложенной методике. Результаты в целом согласуются с промышленной практикой: граница текучести снизилась незначительно в течение всего срока эксплуатации.

Ключевые слова: газогидраты, внутритрубная коррозия, ресурс работы, неразрушающее определение предела текучести, критические размеры трещины.

Mazur M.P., Grabovsky R.S., Poberezhny L.Ya., Karpash M.O., Gryshan-chuk A.V. The Impact of Hydrates on Fatigue Resistance of Long-operated Industrial Pipelines Material

The cause of a dangerous condition and in some cases the destruction of pipelines is the formation of the external or internal surface of the pipe caused by cyclic operating loads, corrosion-fatigue cracks. According to the diagnostic control, such emerging cracks occur at the bottom of corrosive ulcers, technological risks, etc. A fatigue test of tube samples of steel 20 after exposure to gas hydrates is done. We have found out that decrease longevity ranges from 15% to 25%, and when the degradation of the material is up to 2.5 times, indicating the need to consider the hydrated factor in assessing the residual life. The results of tests on crack for samples of steel 20 identified critical crack size. It is shown that the pipes after 31 years of operation critical crack size are reduced by 21%. We have defined yield limit of the samples by the proposed method. The results are generally consistent with industry practices, the yield limit fell slightly for the duration of its use.

Keywords: gas hydrates, of in corrosion life of, non-destructive determination of the border fluidity, critical crack size.

УДК 674.1093.6+02]-413

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК, ВИПИЛЯНИХ З ДЕРЕВИНИ ДУБА

Н.В. Марченко¹, С.М. Мазурчук², П.А. Никитюк³

Наведено основні результати експериментальних досліджень з визначення корисного та якісного виходів пиломатеріалів і заготовок з лісоматеріалів дуба різної розмірно-якісної характеристики. Викладено методику досліджень корисного та якісного виходу пиляної продукції з деревини, яка вкпочає використання розробленого програмного продукту у мовному середовищі Delphi 7. Подано результати ідентифікації основних сортоутворювальних вад дубових пиломатеріалів тепловим методом. Запропоновано модель лінії для теплового неруйнівного виявлення сортоутворювальних вад пиломатеріалів.

Ключові слова: лісоматеріали, пиломатеріали, заготовки пиляні, вади деревини, твердолистяні породи, неруйнівні методи контролю якості, корисний вихід, якісний вихід, норма витрат деревини.

Постановка наукової проблеми. Як відомо [1], лісопиляння є досить матеріаломістким видом виробництва, особливо у разі спеціалізації підприємства на виготовленні заготовок, пиляних із твердолистяних порід деревини (дуб, ясен). Зумовлено це високою вартістю сировини, яка сьогодні перевищує 5000 грн за 1 м³, значною витратою деревини, яка у деяких випадках сягає 5,0 м³ на 1 м³ заготовок експортного призначення, відсутністю ринків збуту сучасної продукції (заготовок нижчих класів якості) та низьким технологічним і організаційним рівнем виробництва. Однак треба враховувати, що така цінна деревина як дуб не є швидко відновлюваною породою, вік стиглості дуба промислового призначення у середньому для лісів України становить від 90 до

¹ доц. Н.В. Марченко, канд. техн. наук – НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ;

² асист. С.М. Мазурчук – НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ;

³ нач. відділу праці, заробітної плати, економічного аналізу та державної власності П.А. Никитюк, канд. с.-г. наук – Державне агентство лісових ресурсів України, м. Київ