

9. Ферцев, А. А. Ускорение обучения нейронной сети для распознавания изображений с помощью технологии NVidia Cuda [Текст] / А. А. Ферцев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. – 2012. – № 1 (26). – С. 183–191.

10. Mourad, A. Localization of vectors–patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy [Text] / A. Mourad // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, Issue 4 (82). – P. 10–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.76171

11. Unglert, K. Principal component analysis vs. self-organizing maps combined with hierarchical clustering for pattern recognition in volcano seismic spectra [Text] / K. Unglert, V. Radic, A. M. Jellinek // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2016. – Vol. 320. – P. 58–74. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2016.04.014

12. Fakhar, K. Fuzzy pattern recognition-based approach to biometric score fusion problem [Text] / K. Fakhar, M. El Arousi, M. N. Saidi, D. Aboutajdine // Fuzzy Sets and Systems. – 2016. – Vol. 305. – P. 149–159. doi: 10.1016/j.fss.2016.05.005

13. Перова, И. Адаптивная обработка данных медико-биологических исследований методами вычислительного интеллекта [Текст] / И. Г. Перова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4 (67). – P. 24–28. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21202

14. Дёмин, Д. А. Нечеткая кластеризация в задаче построения моделей «состав – свойство» по данным пассивного эксперимента в условиях неопределённости [Текст] / Д. А. Дёмин // Проблемы машиностроения. – 2013. – № 6. – С. 15–23.

Mourad Aouati, Главный Комиссар Полиции, Центральное Управление Полиции г. Константина, Али Менджели UV 01 Pot 03 Bt H n°123, г. Константин, Алжир

УДК 66.048.54

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.97799

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ И КИПЕНИЕМ РАСТВОРА В ТРУБАХ

© В. П. Михайличенко, Т. Б. Новожилова, Д. И. Нечипоренко, И. В. Питак

Работа посвящена исследованию и интенсификации процесса кипения различных по вязкости растворов в выпарных аппаратах трубчатого типа с принудительной циркуляцией и вынесенной зоной кипения. На разработанной лабораторной установке были определены основные факторы, влияющие на изменение гидравлического сопротивления греющей камеры при различных режимах работы и зависимость величины потерь от паросодержания. Также найдена оптимальная величина скорости циркуляции рабочего раствора при различных температурах и определены зоны кипения

Ключевые слова: выпарной аппарат, сепаратор, парожидкостная смесь, паросодержание, вакуумный режим, скорость циркуляции

1. Введение

Одной из основных задач, стоящих перед наукой и техникой, является снижение материальных затрат за счет уменьшения потребления энергоресурсов и снижения материалоемкости. Постоянное подорожание энергоресурсов, а также угроза полного их исчерпания ставит перед учеными всего мира задачи экономии энергии и материалов.

Интенсифицируя процесс теплообмена, можно уменьшить поверхность теплообмена, снизив затраты на материалы и уменьшить затраты энергии на сам процесс.

Поэтому привлекают внимание аппараты с принудительной циркуляцией, традиционно выпускаемые только в виде аппаратов с вынесенной зоной кипения и конвективным теплообменом, для получения большой производительности, упрощения обслуживания, повышения кратности выпаривания. Но эти аппараты обладают целым рядом недостатков:

– конвективный теплообмен менее эффективен чем теплообмен при кипении и сопоставим только при больших скоростях потока и существенных затратах энергии на циркуляцию;

– растворы большой вязкости нельзя эффективно упаривать при конвективном теплообмене из-за отсутствия номенклатуры осевых насосов для циркуляции таких растворов;

– наличие трубы вскипания увеличивает металлоемкость аппарата;

– затруднено упаривание пенящихся растворов, ввиду попадания перегретого раствора в сепаратор.

Применение менее металлоемких и более эффективных аппаратов с принудительной циркуляцией и кипением раствора в настоящее время затруднено ввиду отсутствия данных по рабочему процессу в аппарате, гидравлическим сопротивлениям, требуемой оптимальной величине скорости потока, а отсюда – и затрат энергии, условий применения. Работа посвящена получению и систематизации этих данных.

2. Литературный обзор

Теплообмен при кипении отличается большей эффективностью, чем конвективный, так как интенсивность теплообмена определяется термическим сопротивлением ламинарного подслоя на теплопередающей поверхности, который разрушается при кипении. Кроме того, всплывающие пузырьки перемещи-

вают жидкость в объеме, а при конвекции турбулентные пульсации, в лучшем случае, лишь утоняют пограничный слой, но не разрушают его.

Теплообмен при кипении – сложный процесс, а при протекании его в замкнутых каналах – он еще более усложняется влиянием на его характер кроме теплового потока и физических свойств жидкости, гидродинамической обстановкой.

Существует 2 режима кипения – пузырьковый и пленочный [1]. При пузырьковом кипении жидкость непосредственно омывает поверхность нагрева, при этом образующиеся пузыри разрушают ламинарный подслой, имеющий более высокое гидродинамическое сопротивление, чем турбулентный слой жидкости. При пленочном кипении жидкость отделена от теплопередающей поверхности слоем пара, что значительно уменьшает гидродинамическое сопротивление току жидкости, но вследствие низкого коэффициента теплопроводности парового слоя приводит к значительному уменьшению теплового потока. При движении жидкости в вертикальных трубах она смачивает поверхность, вдоль которой всегда будет пристеночный жидкий слой. При испарении жидкости, образующиеся пузыри отрываются от стенки и увлекаются в ядро потока общим движением жидкости [2, 3]. По мере испарения, пузыри сливаются в единый паровой снаряд, который занимает центральную часть трубы. В дальнейшем в центре трубы образуется сильно перемешанная парожидкостная эмульсия. При еще большем паросодержании парожидкостная эмульсия пропадает и четко выделяется сплошная пленка жидкости, движущаяся по поверхности трубы.

Гидродинамика двухфазных течений рассматривается в [4]. Здесь кроме пузырькового и пленочного режима, как в [1], также рассматривается третий промежуточный режим – снарядный, при котором объемы, занимаемые только лишь однообразной жидкой или газообразной фазой примерно одинаковы. В [4] пленочный режим рассматривается как жидкость, распределенная поверхностным слоем на теплопередающей поверхности, а в центре трубы находится паровой стержень, тогда как случай обратного кипения, представленного пристеночным слоем пара с центральным расположением жидкостного потока, рассматривается как частный случай кольцевого течения.

В вертикальной трубе возникают следующие зоны:

– зона недогрева (экономайзерная), где кипение может возникать на поверхности нагрева с медленной конденсацией пузырьков (микрокипение);

– эмульсионная зона, где по мере достижения жидкостью температуры большей чем температура кипения в данной точке, образующиеся пузырьки уже не конденсируются, а увеличиваются в размере, заполняя весь объем потока;

– снарядная зона, в которой пузыри могут сливаться в общие большие пузыри-снаряды, занимающие центр трубки;

– стержневая зона, в которой большие пузыри образуют зону, где по стенкам трубы жидкость движется с большой скоростью, а по центру – пар с каплями;

– зона подсыхания, возникает по мере утонения кольца жидкости за счет испарения.

Исследования выпарных аппаратов с теплообменными элементами, выполненными в виде цилиндров представлены в [5].

При создании эффективного теплообменного аппарата необходимо выдержать заданные значения по количеству передаваемой теплоты, гидравлическому сопротивлению, и, при этом, сделать его как можно более компактным и легким. Следует отметить, что увеличение скорости течения теплоносителя не является оптимальным решением, так как вместе с повышением коэффициента теплоотдачи увеличивается и гидравлическое сопротивление аппарата, причем если теплоотдача растет пропорционально скорости в степени 0,8, то гидравлическое сопротивление – в степени 2, поэтому приходится тратить существенно больше энергии на движение теплоносителя.

Нужно отметить, что существует много способов интенсификации теплообмена для однофазных систем, однако в литературе практически отсутствуют аналогичные сведения для двухфазных потоков, несмотря на то, что этот вопрос представляет большой научный интерес [6].

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – определение потерь напора в греющей камере при различных условиях работы выпарного аппарата.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Создание лабораторной установки.
2. Исследование процесса кипения однофазного жидкостного потока и двухфазного парожидкостного потока.
3. Определение основных факторов (скорости циркуляции, Δt) влияющих на величину потерь напора.
4. Исследование процесса кипения на лабораторной установке.

4. Проведение эксперимента на лабораторной установке

Работа проводилась на двух средах, маловязкой (воде) и средневязкой (раствор хлористого кальция), при атмосферном давлении в сепараторе и вакууме 500 мм рт. ст. Скорости циркуляции варьировались от 0,5 м/с до 2,0 м/с, полезная разность температур – 10, 15, 20, 30 °С.

Общий перепад давлений ΔP между двумя сечениями вертикального обогреваемого канала, в котором движется парожидкостной поток, складывается (как и при течении однофазного потока) из составляющих перепада давления:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{кол.дв.}} + \Delta P_{\text{подъема}}$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – потери давления на трение в греющей камере; $\Delta P_{\text{кол.дв.}}$ – кинетическая энергия движения потока; $\Delta P_{\text{подъема}}$ – перепад давления необходимый для поднятия массы жидкости из нижней части трубы в верхнюю.

При движении парожидкостной смеси в трубе при кипении, невозможно определить фактическое паросодержание смеси в конкретный момент времени. Скорость движения смеси в значительной степени зависит от скорости парообразования, что делает затруднительным определение коэффициента теплоотдачи, а также в значительной мере влияет на гидродинамику процесса [7–10].

Определить расчетным путем по аналогии с определением потерь давления при движении однофазного потока в данном случае затруднительно, так как перепад температур существенно зависит от паросодержания потока.

Поэтому была предпринята попытка оценить величину потерь напора в греющей камере, которая моделирует промышленный выпарной аппарат с кипением в трубах.

Принципиальная схема аппарата показана на рис. 1. Установка состоит из испытываемой греющей

камеры с одной трубой, сепаратора, циркуляционного насоса X20/31, трубопроводов. Отбор давления производится в верхнем и нижнем концах теплообменной трубы. Для определения величины давления использовались стеклянные трубки, закрепленные на мерной доске. Стеклянные трубки одним концом соединялись с соответствующим штуцером отбора давления, другим концом соединялись с полостью трубы, в которой можно было создавать воздухом разрежение или избыточное давление (в зависимости от условий эксперимента).

Для определения начала зоны кипения по высоте трубы в неё вмонтировано 12 хромель-копелевых термопар на расстоянии 525 мм друг от друга.

Для сравнения величины потерь напора при движении однофазного жидкостного потока и двухфазного парожидкостного потока, были проведены опыты на воде и растворе CaCl_2 при температуре, близкой к температуре насыщения.

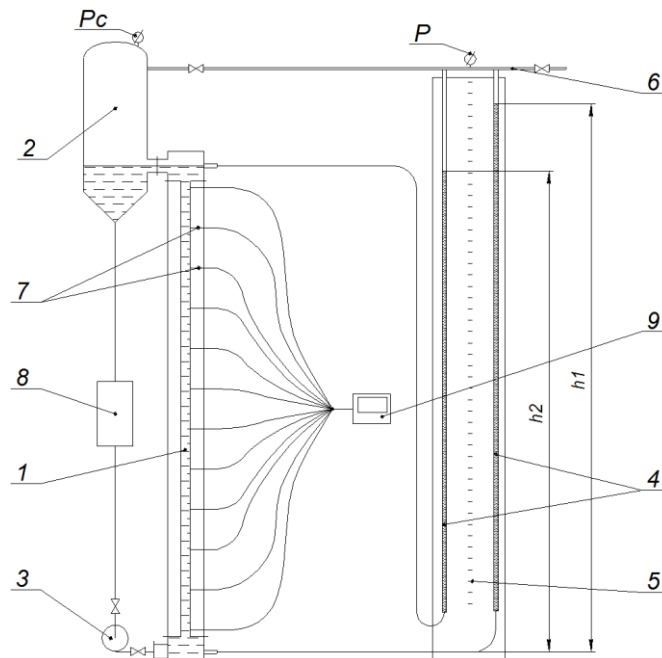


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляционный насос; 4 – стеклянные трубки; 5 – мерная доска; 6 – труба для создания необходимого давления; 7 – термопары; 8 – расходомер; 9 – вторичный прибор термодатчиков

Результаты опытов приведены на графиках (рис. 2–5). Здесь: кривая 1 показывает зависимость перепада давления при температуре насыщения; 2 – при $\Delta t=10^\circ\text{C}$; 3 – при $\Delta t=15^\circ\text{C}$; 4 – при $\Delta t=20^\circ\text{C}$; 5 – при $\Delta t=30^\circ\text{C}$, где Δt – разница температур между греющим паром во внешней трубе и нагреваемой средой во внутренней.

На основании графиков (рис. 2–5) можно отметить следующее. Величина потерь давления при работе на атмосферном давлении значительно выше, чем при работе под вакуумом, что свидетельствует о наличии в этом режиме развитого кипения, и увеличивается при возрастании разности температур. На более вязком растворе CaCl_2 , как и следовало ожидать, величина потерь давления количественно выше, чем при работе на воде.

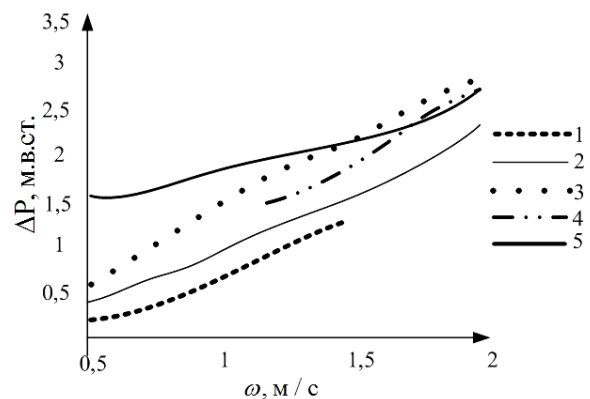


Рис. 3. График зависимости перепада давления ΔP от скорости циркуляции ω при работе на воде при вакууме в сепараторе 600 мм рт. ст.

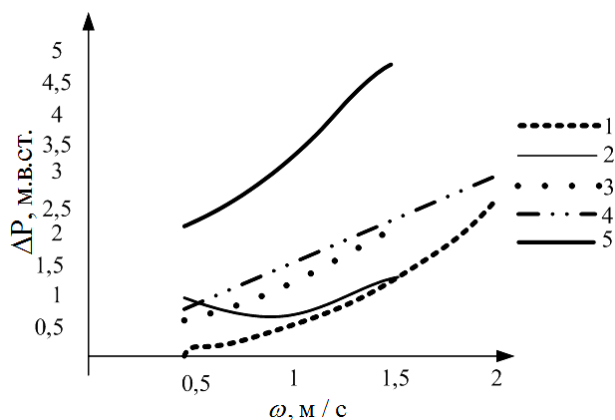


Рис. 4. График зависимости перепада давления ΔP от скорости циркуляции ω при работе на растворе CaCl_2 при атмосферном давлении в сепараторе

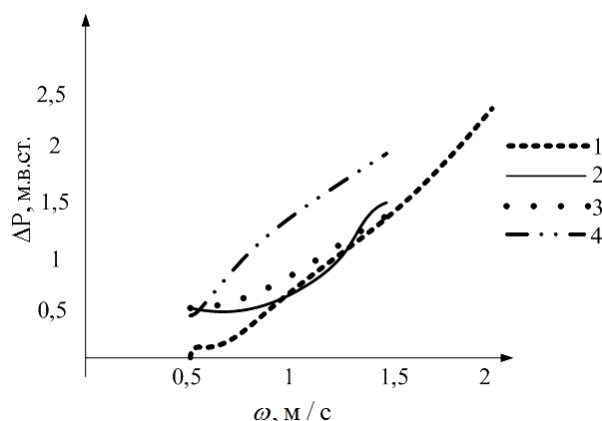


Рис. 5. График зависимости перепада давления ΔP от скорости циркуляции ω при работе на растворе CaCl_2 при вакууме в сепараторе 600 мм рт. ст.

5. Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования получены данные, которые показывают, что при выпаривании под атмосферным давлением величина потери напора для парожидкостного потока при $\Delta t=30^\circ\text{C}$ больше потерь напора для некипящей жидкости в 4–4,5 раза, а для вакуума только в 2 раза, что подтверждает значительную зависимость величины потерь от паросодержания.

При скоростях жидкости порядка 1 м/с и малых $\Delta t=10\text{--}15^\circ\text{C}$ зависимости имеют ярко выраженный нелинейный характер, а при увеличении скорости и теплового напора приближаются к линейному.

Из полученных данных видно, что с увеличением скорости для малых перепадов температур (порядка 15°C), зона кипения в трубе практически исчезает, так как кривые $\Delta P=f(\omega)$ приближаются к значениям, полученным для некипящего раствора при том же давлении.

6. Выводы

Полученные результаты говорят о следующем:

1. Максимальное значение ΔP для случая работы при атмосферном давлении, $\omega=2$ м/с, $\Delta t=30^\circ\text{C}$ для раствора CaCl_2 – составило ≈ 6 м вод. ст. В общем для вакуумного режима на обоих средах величина потерь не превышает 2 м вод. ст. (очевидно нет кипения). Для атмосферного режима, кроме указанного выше, величина потерь лежит в пределах 3 м вод. ст., что говорит о наличии кипения.

2. С увеличением скорости циркуляции заметно растут потери давления и уменьшается зона кипения, а при увеличении парогенерации в трубах, возрастают затраты на циркуляцию.

Литература

1. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
2. Фокин, В. С. Исследование процесса кипения раствора в щелевых каналах греющей камеры выпарного аппарата [Текст] / В. С. Фокин, Д. Ю. Данилов, Д. И. Нечипоренко // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2008. – № 3. – С. 16–20.
3. Нечипоренко, Д. И. Исследование процесса кипения растворов в разборной ширококанальной пластинчатой греющей камере выпарного аппарата [Текст] / Д. И. Нечипоренко, В. А. Панасенко, Т. Б. Новожилова // Труды НИОХИМ. – 2010. – Т. 76. – С. 107–112.
4. Тонг, Л. С. Теплоотдача при кипении и двухфазное течение [Текст] / Л. С. Тонг. – М.: Мир, 1969. – 344 с.
5. Данилов, Ю. Б. Научно-практические основы создания энергосберегающего теплообменного и выпарного оборудования нефтехимического комплекса Украины [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. Б. Данилов. – Х., 2008. – 376 с.
6. Минеев, Ю. В. Гидродинамика и теплообмен при кипении смесового холодильного агента R407C внутри трубы с ленточными турбулизаторами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Минеев. – Астрахань, 2007. – 205 с.
7. Аппараты и машины кислородных установок [Текст]: сб. тр. – М.: Машиностроение, 1963. – № 6. – 183 с.
8. Фокин, В. С. Методика определения паросодержания смеси на выходе из пластинчатого испарителя системы теплоснабжения [Текст]: науч.-техн. сб. / В. С. Фокин, В. М. Кошельник, А. В. Кошельник, Л. И. Збараз, Д. Ю. Данилов // Коммунальное хозяйство городов. – 2003. – № 47. – С. 168–171.
9. Головченко, О. А. К расчету размеров зоны развитого кипения в выпарных аппаратах нормализованной конструкции [Текст] / О. А. Головченко, В. С. Фокин, Л. Н. Марченко, Л. С. Аксельрод // Химическое машиностроение. – 1977. – № 77. – С. 36–40.
10. Кутепов, А. М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании [Текст] / А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. – М.: Высшая школа, 1977. – 448 с.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Шанорев В. П.
Дата надходження рукопису 17.02.2017

Михайличенко Вилимин Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: vilimin@mail.ru

Новожилова Татьяна Борисовна, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: betinan@yandex.ru

Нечипоренко Дмитрий Игоревич, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: dimanechiporenko@mail.ru

Питак Инна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: ipitak5@gmail.com

УДК 674:678:620

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.97882

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ДЕРЕВИНИ І ШАРУВАТИХ ПЛАСТМАС ПО КОТРЕЧКУ

© О. О. Котречко

Розроблені нові методи визначення твердості деревини і шаруватих пластмас з врахуванням анізотропії їх властивостей. Твердість деревини і шаруватих пластмас досліджують під кутами до напрямку волокон. В якості інденсторів використовують тригранні призми, зрізані з торців в сторону робочого леза. Показники твердості отримані за цими методами, є більш точним, ніж за існуючими

Ключові слова: деревина, шаруваті пластмаси, твердість, анізотропія, інденстор, тригранна призма, лезо, навантаження

1. Вступ

За будовою деревина і шаруваті пластмаси відносяться до матеріалів, які володіють анізотропією властивостей. Твердість деревини досліджують у трьох головних перерізах стовбура: поперечному, радіальному і тангентальному. В поперечному перерізі стовбура навколо його серцевини знаходяться концентричні шари, які являють собою щорічний приріст деревини. В радіальному перерізі річні шари мають вид повздовжніх паралельних смуг, а на тангентальному – звивистих ліній (рис. 1).

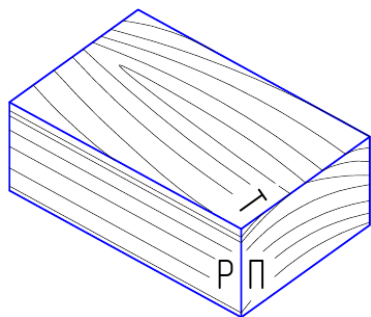


Рис. 1. Вид щорічних шарів на головних перерізах: П – поперечний; Р – радіальний; Т – тангентальний

Твердість деревини у кожній із площин, залежно від напрямку щорічних шарів, різна. Так, наприклад, твердість деревини поперек волокон на 30–40 % більше, ніж вздовж. Аналогічно твердість шаруватих пластмас, як анізотропного матеріалу,

вздовж шарів і під кутами до них суттєво відрізняється.

В зв'язку з тим, що твердість матеріалів пропорційно пов'язана з міцністю, зносостійкістю та надійністю готових виробів, визначення достовірних значень цієї механічної характеристики створює можливість їх раціонального використання у виробництві. Тому розробка і використання нових методів визначення твердості анізотропних матеріалів доцільна.

2. Літературний огляд

На даний час твердість деревини досліджують:

- втисненням в деревину кульки діаметром 10 мм [1];
- по тиску, необхідному для повного заглиблення в деревину стальної напівсфери [2];
- по величині зусилля, необхідного для втиснення голки в деревину [3];
- по величині навантаження, необхідного для втиснення сферичного наконечника діаметром 30 мм на глибину 2,3 см з утворенням відбитка площею 2 см² [4];
- глибиною свердління із швидкістю 150 об/хв під тиском пружини [5];
- втисканням пуансона з наконечником у вигляді напівсфери радіусом 5,64±0,01 мм на глибину 5,64 мм, а в разі розколювання зразка – на глибину 2,82 мм., при цьому твердість деревини розраховують діленням величини навантаження до площі відбитка [6];
- втисканням кульки у зразок, виконаний у вигляді тетраедра, який має чітко виражені тангентальний, радіальний і поперечні перерізи [7].