

Испытания эластичного пенополиуретана — важный этап оценки качества, физических свойств и долговечности гибких пеноматериалов. В статье рассматриваются стандартные методы определения плотности, жёсткости при вдавливании (IFD), сопротивления сжатию (CFD), прочности при растяжении, сопротивления раздиранию, упругости и усталостной стойкости пены. Также изложены требования к классификации и оценке эксплуатационных характеристик эластичных пенополиуретанов по ISO 5999.

Аннотация

Эластичные пенополиуретаны широко применяются в производстве мебели, матрасов, автомобильных изделий, общественного транспорта, медицинского оборудования и многочисленных промышленных изделий благодаря комфорту, гибкости, способности поглощать энергию и достаточной долговечности.

Из-за разнообразия продукции необходима единая система стандартов для классификации, оценки качества и установления диапазонов эксплуатационных характеристик.

ISO 5999 и соответствующий иранский национальный стандарт INSO 8135:2026 предлагают комплексную систему классификации эластичных пенополиуретанов. По типу и технологии производства материалы сначала делятся на блочные (Type I), формованные (Type II) и восстановленные или склеенные (Type III). В зависимости от упругости и структуры выделяются подгруппы LB, MB, HB, LM, MM, HM и RE, предназначенные для различных областей применения.

После определения типа материала его свойства оцениваются испытанием на усталость при многократном нагружении постоянной нагрузкой по ISO 3385. Образец подвергают последовательным циклам нагружения, после чего измеряют потерю жёсткости.

Относительное снижение жёсткости характеризует долговечность и сохранение механических свойств при длительном использовании. По этому показателю пеноматериалы относят к пяти классам X, V, S, A и L. Чем меньше потеря жёсткости, тем выше сопротивление усталости и пригодность к более тяжёлым условиям эксплуатации. Другой важный показатель — усилие при вдавливании (Indentation Force Deflection, IFD), то есть сила, необходимая для заданной глубины вдавливания. Он служит основным критерием исходной жёсткости и определения градации материала. Полное обозначение состоит из типа, класса и градации. Например, HB-V-170(I) обозначает высокоэластичный блочный пеноматериал для очень тяжёлых условий эксплуатации с исходным усилием вдавливания 170 Н. Такая система облегчает точный выбор материала для разных задач. Помимо классификации, ISO 5999 устанавливает минимальные требования для каждого типа и класса: прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, остаточную деформацию сжатия, прочность после теплового и влажностного старения, изменение прочности и другие физические свойства. Это позволяет обеспечить как необходимую жёсткость, так и долговечность в условиях применения.

Следовательно, выбор материала нельзя основывать на одном показателе. Следует одновременно учитывать тип пены, класс эксплуатационных характеристик, градацию жёсткости, физические свойства, реальные условия службы и требования конкретного применения. Соблюдение международных стандартов, включая ISO 5999, помогает обеспечить качество и долговечность продукции, правильно выбирать пеноматериалы и сравнивать продукцию разных производителей. Эти стандарты играют важную роль в

проектировании, изготовлении, контроле качества и разработке эластичных пенополиуретанов.

1- Введение

На этапе разработки изделия физические свойства пены оценивают для определения характеристик исходного сырья и пригодности материала к предполагаемому применению. При промышленном производстве измерение основных физических свойств также играет важную роль в контроле качества продукции.

В статье представлены и разъяснены испытания для оценки **основных физических свойств и долговечности пены**.



Рисунок 1 — Пена под нагрузкой

2- Основные физические свойства

ASTM D3574 устанавливает стандартные процедуры подготовки образцов пены, а также методы испытаний основных физических свойств и долговечности. В системе ISO нет единого стандарта, полностью соответствующего ASTM D3574, однако некоторые описанные в нём методы имеют соответствующие или эквивалентные стандарты ISO. В каждом разделе данной статьи рассматриваются соответствующие методы ISO. Ниже представлены семь основных испытаний физических свойств:

Плотность (Density)

Усилие вдавливания при заданной деформации (Indentation Force Deflection, IFD)

Усилие сжатия при заданной деформации (Compression Force Deflection, CFD)

Остаточная деформация сжатия при постоянной деформации (Constant Deflection Compression Set)

Прочность при растяжении (Tensile Strength)

Сопротивление раздиранию (Tear Resistance)
Упругость (Resilience)

2-1- Подготовка образцов

Согласно стандартам ISO, испытания пены следует проводить через 72 часа после изготовления. До испытания недеформированный образец должен выдерживаться не менее 16 часов в контролируемых условиях: температура 23 ± 2 °C и относительная влажность $50 \pm 5\%$ либо температура 27 ± 2 °C и относительная влажность $65 \pm 5\%$. Этот период кондиционирования может приходиться на завершающую часть выдержки после производства.

В некоторых испытаниях также применяется механическое кондиционирование (Mechanical Conditioning), чтобы результаты по возможности отражали фактическое поведение изделия при эксплуатации.

2-2- Плотность

Измерение плотности, показанное на рисунке 2, определяет кажущуюся (Apparent Density) или объёмную плотность (Bulk Density) пены, а не истинную плотность самого полимера. Это важное свойство напрямую связано с себестоимостью производства и несущей способностью. Как правило, увеличение плотности повышает производственные затраты, но одновременно улучшает механические свойства и способность выдерживать нагрузку.

Согласно ISO 845, плотность пены определяют и представляют двумя способами. Первый — кажущаяся плотность сердцевины (Apparent Core Density): перед измерением удаляют все поверхностные слои (Skin), образовавшиеся при формовании. Второй — общая кажущаяся плотность (Apparent Overall Density), при которой учитывают весь образец, включая формованную поверхностную корку. Сначала точно измеряют размеры представительного образца, затем его массу. Плотность обычно выражают в кг/м^3 и рассчитывают делением массы на объём.



Рисунок 2 — Измерение плотности пены

2-3- Усилие вдавливания (IFD)

Испытание IFD определяет несущие свойства пены по усилию, необходимому для вдавливания круглой пластины в образец; этот показатель также характеризует жёсткость. Известно, что результаты зависят от температуры и относительной влажности при изготовлении, отверждении и испытании материала. Согласно ISO 2439, метод А, образец помещают на перфорированную опорную плиту для свободного прохождения воздуха, а круглую пластину диаметром 20 см устанавливают на поверхность пены (рисунок 3). Для предварительного механического кондиционирования образец трижды сжимают до 70% его толщины. Сразу после третьей разгрузки выполняют вдавливание на 40% исходной толщины, выдерживают 30 секунд, регистрируют соответствующую силу в ньютонах и снимают нагрузку. При испытании одновременно регистрируют силу и глубину вдавливания.

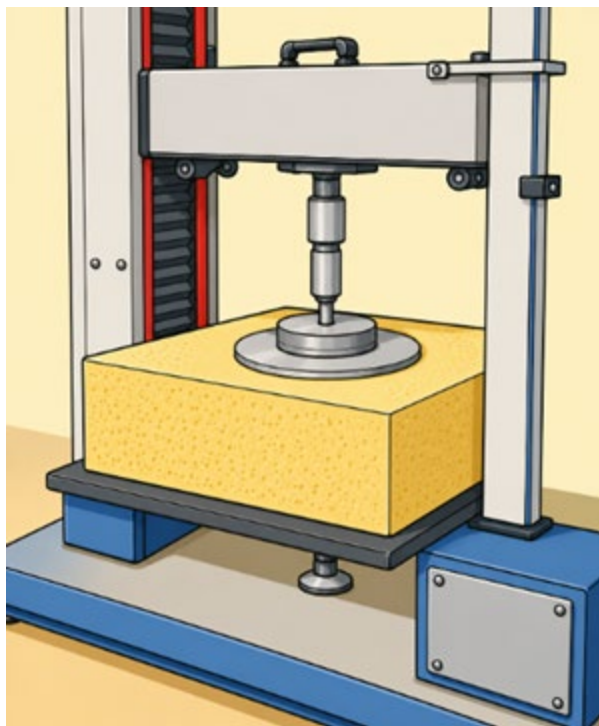


Рисунок 3 — Измерение жёсткости при заданной деформации

Результаты можно представить кривой, как на рисунке 4. При одинаковой глубине вдавливания сила, измеренная при разгрузке (Unload), меньше силы при нагружении (Load). Эта разница называется гистерезисом (Hysteresis) и выражается в процентах от приложенной силы.

Гистерезис характеризует энергию, поглощённую пеной при деформации. Материалы с высоким гистерезисом обычно обладают меньшей упругостью (Resilience) и требуют больше времени для восстановления исходной формы.

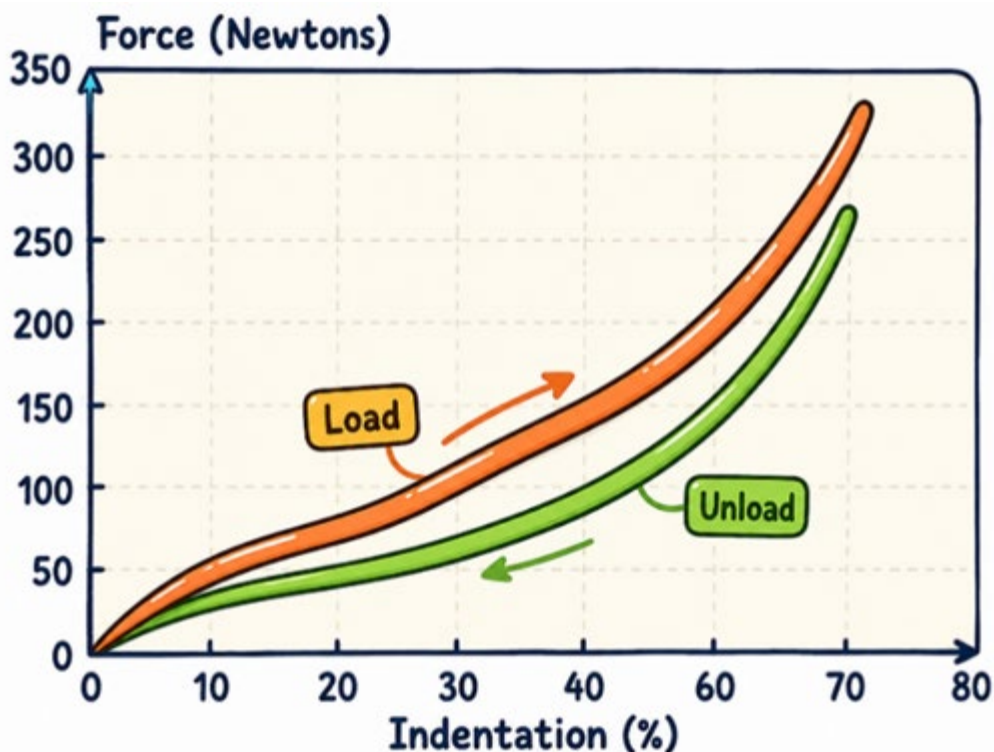


Рисунок 4 — Кривая «усилие — деформация» при испытании IFD

Значения IFD можно измерять и представлять при различных уровнях деформации, в частности 25%, 50% и 65% исходной толщины пены. При разгрузке обычно также регистрируют IFD при деформации 25% и 5%. По этим данным рассчитывают различные технические показатели механического поведения и несущих свойств материала, основные из которых приведены ниже.

- Восстановление (Recovery), или величина, обратная гистерезису (1/Hysteresis)

$$\% \text{Recovery} = (\text{Unload 25\% IFD}) / (\text{Load 25\% IFD}) \times 100$$

Высокие показатели восстановления желательны для комфортных сидений и амортизирующих подушек, тогда как низкие значения предпочтительнее для поглощения ударов. Пены с низким восстановлением иногда называют «мёртвой пеной» (Dead Foam).

- Коэффициент проседания (Sag Factor), или коэффициент поддержки (Support Factor)

$$\text{Sag Factor} = (65\% \text{ IFD}) / (25\% \text{ IFD})$$

Чем выше коэффициент проседания (поддержки), тем лучше поддерживающие свойства пены и характеристики сиденья. Пены с низким значением обычно быстро сжимаются до основания под нагрузкой и работают неудовлетворительно.

- Коэффициент комфорта (Comfort Factor), или величина, обратная коэффициенту начальной жёсткости

$$\text{Comfort Factor} = (25\% \text{ IFD}) / (5\% \text{ IFD})$$

Коэффициент комфорта характеризует первое ощущение пользователя при соприкосновении с поверхностью пены. Чем выше показатель, тем мягче воспринимается поверхность; низкие значения указывают на более жёсткую поверхность.

- Направляющий коэффициент (Guide Factor)

$$25\% \text{ Guide Factor} = (25\% \text{ IFD}) / \text{Density}$$

$$65\% \text{ Guide Factor} = (65\% \text{ IFD}) / \text{Density}$$

Пены с более высоким направляющим коэффициентом обычно экономичнее по расходу сырья и стоимости изготовления, однако это преимущество не обязательно означает лучшие эксплуатационные свойства.

2-4- Усилие сжатия (CFD)

Принцип испытания CFD аналогичен IFD, однако здесь измеряют и указывают усилие, необходимое для сжатия пены до заданной деформации. Для CFD используют достаточно большую нажимную плиту, равномерно распределяющую усилие по всей верхней поверхности образца.

По ISO 3386 образец помещают на перфорированную опору, обеспечивающую движение воздуха при сжатии. Образец устанавливают по центру устройства (рисунок 5) и сжимают со скоростью 100 мм/мин до уменьшения толщины до 70% исходной. Затем плиту поднимают с той же скоростью, позволяя образцу восстановить исходную толщину. Процедуру повторяют трижды для механического кондиционирования. При четвёртом нагружении измеряют и регистрируют давление, необходимое для заданной деформации, в кПа.

Метод CFD допускает изменения условий испытания, включая размеры образца (в том числе толщину пены) и площадь нажимной плиты. Эти изменения могут повлиять на результаты измерений.

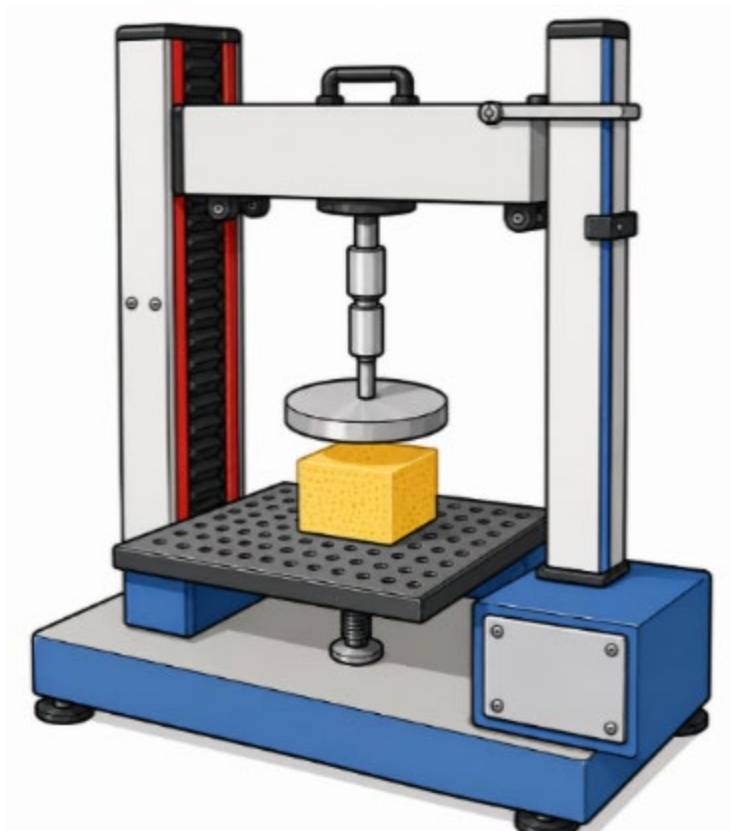


Рисунок 5 — Измерение усилия сжатия при заданной деформации

2-5- Остаточная деформация сжатия при постоянной деформации

При испытании на остаточную деформацию сжатия (Compression Set) три образца пены с точно заданными размерами помещают между двумя металлическими пластинами и сжимают на 50%, 75% или 90% относительно исходной толщины. В сжатом состоянии образцы выдерживают 22 часа при 70 °С. Затем их извлекают из устройства и оставляют на 30 минут для максимально возможного восстановления. После этого вновь измеряют толщину и рассчитывают остаточную деформацию.

$$C_t = (t_0 - t_f) / t_0 \times 100$$

C_t : остаточная деформация сжатия, выраженная в процентах от исходной толщины образца;

t_0 : исходная толщина образца до приложения нагрузки;

t_f : конечная толщина образца после испытания и восстановления.

Если исходная толщина образца меньше его длины или ширины, величина остаточной деформации не зависит от толщины. Однако если толщина превышает длину или ширину, при нагружении возможно выпучивание (Buckling), что ухудшает воспроизводимость

результатов. Поэтому измерение обычно проводят вдоль направления роста пены. Образцы, вырезанные перпендикулярно направлению роста, обычно показывают меньшую остаточную деформацию.

Кроме того, некоторые автопроизводители требуют испытание на остаточную деформацию сжатия во влажных условиях (Wet Compression Set). По одному из распространённых методов вырезанный образец с формованной коркой (например, по методу Renault) сжимают на 50% и выдерживают 22 часа при 50 °C и относительной влажности 95%.



Рисунок 6 — Испытание на остаточную деформацию сжатия

2-6- Прочность при растяжении

Испытание на растяжение (Tensile Test) определяет прочность пены при растягивающей нагрузке и позволяет оценить её гибкость и упругие свойства. Образцы обычно вырезают в форме гантели или кости с размерами, установленными соответствующим стандартом. Согласно ISO 1798, образец растягивают с постоянной скоростью 500 мм/мин до разрыва. Силу в момент разрушения используют для определения прочности при растяжении, обычно выражаемой в кПа.

Максимальное удлинение образца в процентах от исходной длины называется относительным удлинением при разрыве (Elongation at Break). Его измеряют вручную либо экстензометром (Extensometer). Ранее контактные экстензометры могли вносить погрешности из-за непосредственного контакта с образцом, вызывая локальную деформацию или концентрацию напряжений. Сегодня доступны более точные бесконтактные лазерные экстензометры. Модуль упругости (Modulus of Elasticity) определяют по кривой напряжение–деформация (Stress–Strain Curve) при растяжении: он равен начальному наклону кривой в области полностью упругого поведения, где выполняется закон Гука. У большинства пенополиуретанов есть предел текучести (Yield

Point), после которого деформация уже не полностью обратима и начинается остаточная неупругая деформация. Это может быть связано с разрушением перемычек (Struts) ячеистой структуры, разрывом стенок ячеек (Cell Windows) или скольжением полимерных цепей. Напряжение в точке текучести называется пределом текучести (Yield Strength). Дополнительные сведения о влиянии компонентов рецептуры на структуру и механические свойства пены приведены в статье «Роль удлинителей цепи в пенополиуретане».

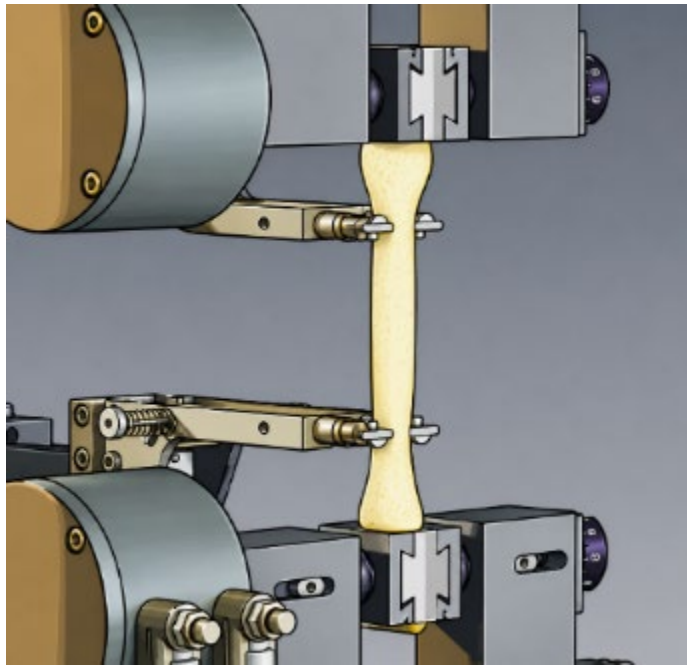


Рисунок 7 — Измерение прочности при растяжении

2-7- Сопротивление раздиранию

Ещё один важный показатель механической прочности пены — сопротивление раздиранию (Tear Strength). Как схематично показано на рисунке 8, по ISO 8067 готовят образец заданных размеров с предварительным надрезом и прикладывают растягивающую нагрузку. Трещина распространяется от надреза, при этом измеряют усилие, необходимое для дальнейшего распространения разрыва. Сопротивление раздиранию рассчитывают делением максимальной зарегистрированной или средней силы на толщину образца; обычно результат выражают в Н/мм. Чем выше значение, тем лучше пена сопротивляется распространению трещин под механической нагрузкой.

Результаты испытания существенно зависят от сопротивления пены раздиранию, но не обязательно напрямую коррелируют с прочностью при растяжении. Поскольку испытание начинается с заранее выполненного надреза, оценивают способность препятствовать дальнейшему распространению трещины, а не силу её первоначального образования. Поэтому качество и острота режущего инструмента могут влиять на результат.

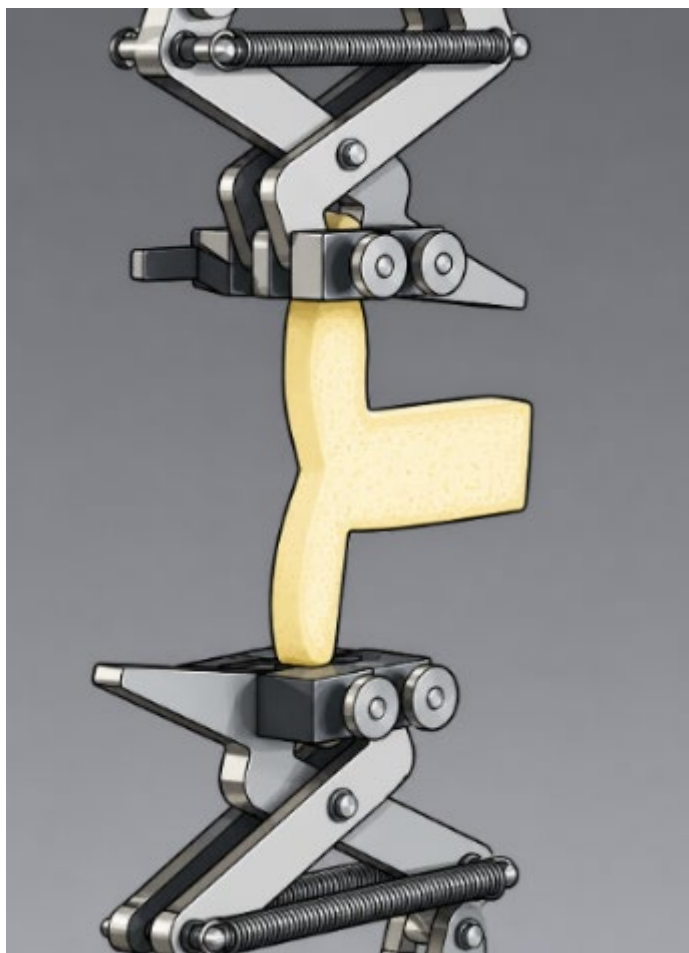


Рисунок 8 — Измерение сопротивления раздиранию

2-8- Упругость

Упругость пены (Resilience) измеряют испытанием на отскок шарика (Ball Rebound Test), показанным ниже. Стальной шарик сбрасывают с заданной высоты на образец и измеряют высоту отскока. ISO 8307 описывает методику и необходимое оборудование. Результаты связаны с комфортностью сиденья (Cushion Comfort), поэтому этот показатель используют как один из критериев оценки.



Рисунок 9 — Испытание упругости пены

3- Испытания долговечности пены

Для определения сопротивления усталости (Fatigue) эластичных пеноматериалов существует несколько лабораторных методов. Большинство из них относится к двум основным группам: статические испытания на усталость (Static Fatigue Tests) и динамические испытания на усталость (Dynamic Fatigue Tests).

Методы обеих групп различаются величиной нагрузки или деформации, использованием вдавливающего элемента либо полного сжатия, наличием сдвигающих сил, толщиной образца, числом циклов нагружения, скоростью деформации и восстановления, а также временем выдержки после каждого цикла или по завершении испытания. Оцениваемые показатели также зависят от метода и могут включать потерю высоты (Height Loss), потерю жёсткости (Hardness Loss), изменения внешнего вида и ухудшение других физических свойств.

Ниже кратко описаны несколько распространённых стандартных лабораторных методов оценки усталости пены. По мере развития исследований появляются новые методы, многие из которых лучше коррелируют с реальными эксплуатационными характеристиками и позволяют точнее прогнозировать долговечность материала.

3-1- Статические испытания на усталость

Как правило, наиболее распространены два вида статических испытаний:

- Испытание на остаточную деформацию при постоянном сжатии
- Испытание на ползучесть при постоянной нагрузке

3-1-1- Остаточная деформация при постоянном сжатии

Наиболее распространённым статическим испытанием на усталость является определение остаточной деформации при постоянном сжатии; его методика очень похожа на простое испытание из раздела 2-5. Испытание проводят по ASTM D3574, метод I, обычно на образцах размером $380 \times 380 \times 80$ мм. Соответствующего стандарта ISO для этого метода нет. Согласно рисунку 10, образец сжимают в простом устройстве до заданной деформации и выдерживают определённое время. Затем образец извлекают, дают ему восстановиться, измеряют высоту и представляют результат в процентах от исходной высоты.

Результаты испытания на остаточную деформацию достаточно хорошо коррелируют с потерей толщины подушек при эксплуатации и изменением жёсткости пены. Однако низкая остаточная деформация в статическом испытании не гарантирует хорошего поведения изделия в реальных условиях. Поэтому при разработке новой продукции это испытание обычно служит лишь приблизительным показателем восстановления после разгрузки; оно также широко используется для производственного контроля качества.

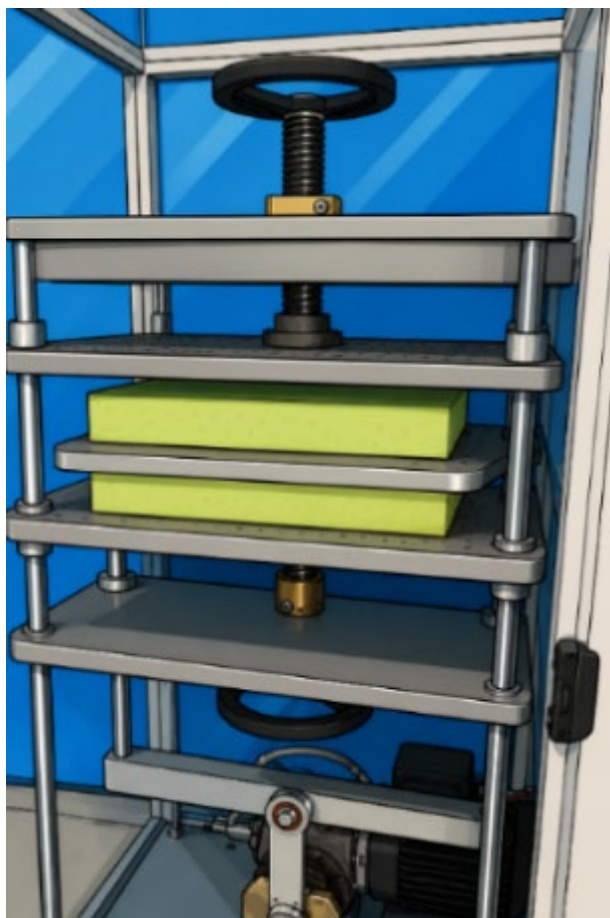


Рисунок 10 — Испытание на остаточную деформацию сжатия для оценки статической усталости

3-1-2- Ползучесть при постоянной нагрузке

Ползучесть (Creep) — зависящая от времени деформация образца под действием непрерывной постоянной нагрузки, которая после разгрузки может полностью или в значительной степени исчезнуть. Типичное устройство показано на рисунке 11. Образец пены приблизительно размерами $76 \times 76 \times 51$ мм помещают под нагрузочную плиту, устанавливают на неё необходимую массу и прикладывают нагрузку к образцу. В течение 10 минут измеряют вертикальную деформацию (ползучесть).

Результаты представляют графиком зависимости деформации в процентах от времени; по наклону кривой рассчитывают скорость ползучести (Creep Rate). Она зависит от первоначальной глубины вдавливания или степени сжатия: с увеличением сжатия скорость ползучести обычно возрастает. Более высокая скорость указывает на большую склонность пены терять толщину и эксплуатационные свойства со временем.

Как и другие статические испытания на усталость, испытание на ползучесть само по себе недостаточно жёсткое для моделирования реальных условий службы. Поэтому его

результаты обычно не позволяют точно прогнозировать долговременную работу пены и применяются преимущественно для сравнения материалов и контроля качества.

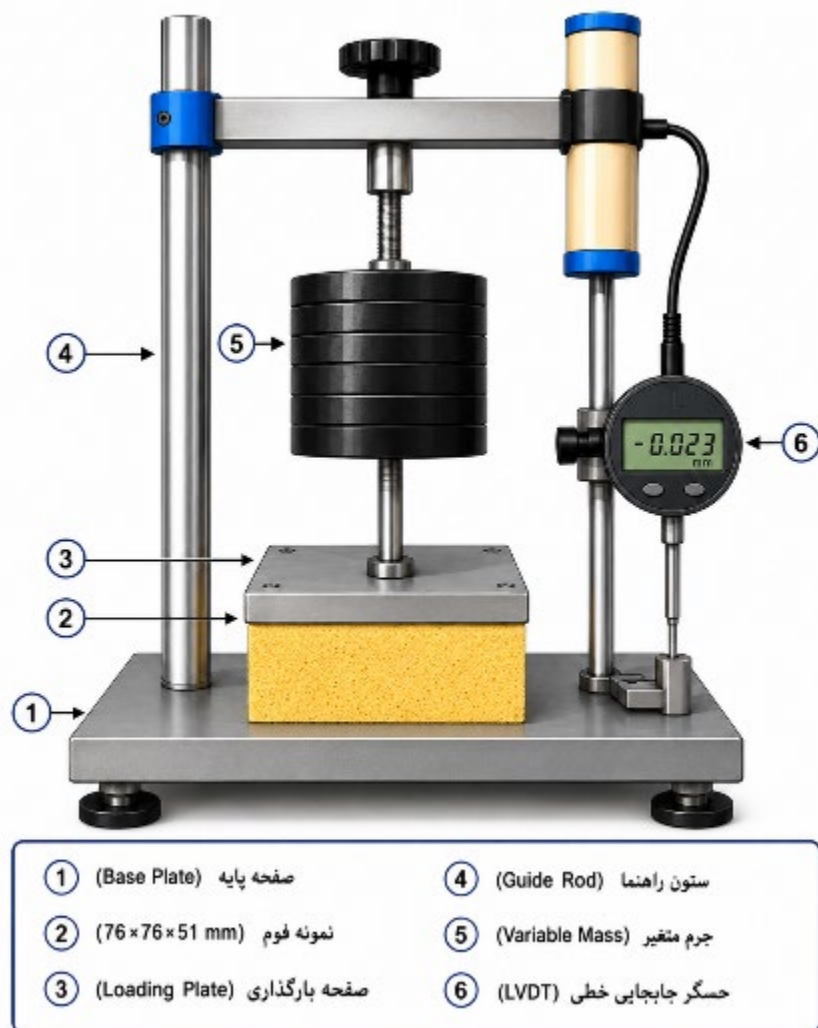


Рисунок 11 — Схема установки для испытания на ползучесть при постоянной нагрузке

3-2- Динамические испытания на усталость

Динамические испытания на усталость предназначены для моделирования повторяющихся нагрузок, которым подвергаются сиденья при эксплуатации. Обычно применяют два основных подхода:

Повторное сжатие подушки из пены колеблющимся вдавливающим элементом (Oscillating Indenter) до фиксированного процента толщины;
Многократное нагружение и разгрузка образца, при которых в каждом цикле вдавливающий элемент прикладывает постоянную нагрузку.

Сообщается, что динамические испытания на усталость, в том числе испытание многократными ударами с постоянной нагрузкой (Constant-Load Pounder Test), хорошо коррелируют с потерей высоты (Height Loss) пены при реальной эксплуатации и в некоторой степени — с потерей жёсткости (Hardness Loss). В ходе испытания с постоянной нагрузкой, по мере размягчения пены, глубина проникновения вдавливающего элемента постепенно увеличивается. ISO 3385 представляет один из стандартных методов такого испытания и широко применяется изготовителями пеноматериалов для мебели и автомобилей.

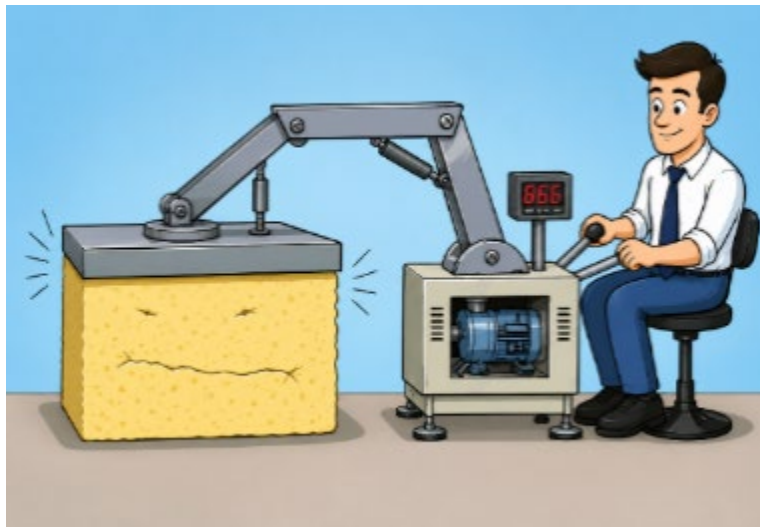


Рисунок 12 — Схематическое изображение испытания пены на усталость

3-2-1- Испытание на усталость многократными ударами при постоянной нагрузке

ISO 3385 устанавливает стандартный метод испытания на усталость многократными ударами при постоянной нагрузке. На образец пены размером $380 \times 380 \times 50$ мм круглой пластиной диаметром 25 см прикладывают нагрузку 750 Н с частотой 70 циклов в минуту, всего 80 000 циклов. Пример испытательного устройства приведён на рисунке 13.

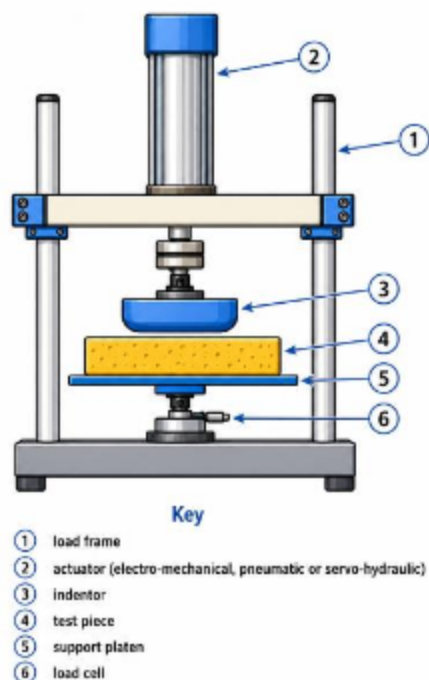
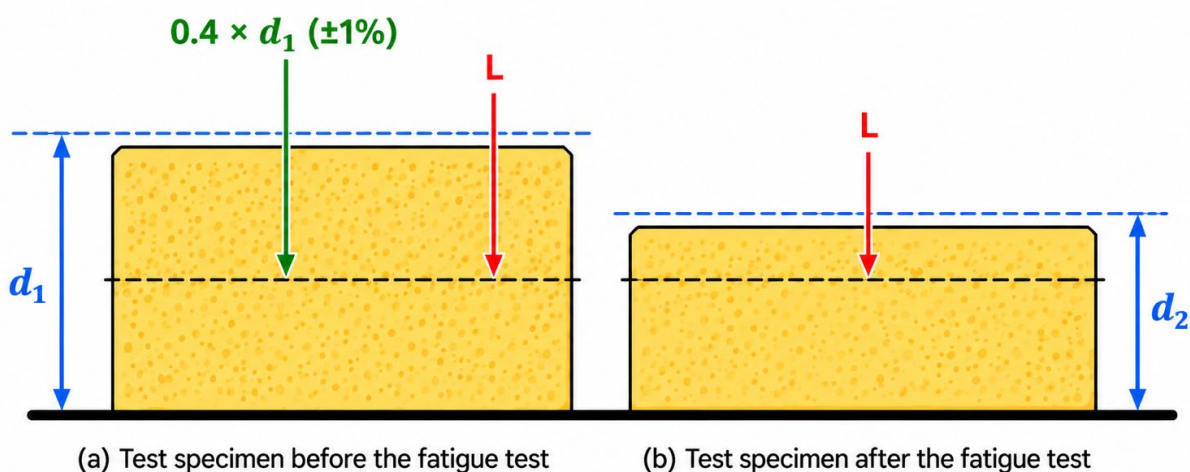


Рисунок 13 — Схема установки для испытания на усталость при постоянной нагрузке

Толщину и жёсткость образца (значения IFD) измеряют до и после испытания по ISO 2439. Полученные результаты сравнивают, а процент снижения используют для оценки усталостной стойкости и долговечности пены. Однако при измерении IFD после усталостного испытания деформацию 40% следует рассчитывать относительно исходной толщины, измеренной до испытания на усталость. Это требование показано на рисунке 14.



Legend	
L	Reference level (strain gauge)
d_1	Thickness of the test specimen before the fatigue test, in millimetres
d_2	Thickness of the test specimen after the fatigue test, in millimetres

Рисунок 14 — Схема измерения жёсткости после испытания пены на усталость

4- Требования к физическим свойствам эластичных пенополиуретанов для несущих применений

Пены классифицируют по типу, результатам испытания на усталость и усилию вдавливания (IFD), определяющему градацию. На этой основе ISO 5999 устанавливает требования к физическим и механическим свойствам каждой группы и рекомендует области применения с учётом результатов испытаний на усталость.

4-1- Классификация эластичных пенополиуретанов

Согласно ISO 5999 (или иранскому национальному стандарту INSO 8135:2026), пены классифицируют по типу (Type), классу (Class) и градации (Grade).

4-1-1- Тип



Рисунок 15 — Типы пенополиуретана

Эластичные пенополиуретаны делят на группы по виду исходного сырья, структуре пены и технологии производства. Эта классификация ISO 5999 служит основой для определения особенностей, требований к физическим свойствам и областей применения каждого типа, как показано в таблице 1.

Type	Code	Description of foam
I	LB	Block foam, slabstock or contour cut [low resilience (known as “viscoelastic”)] اسفنج بلوکی ، اسلب استاک یا برش خورده (جهندگی کم [ویسکوالاستیک])
	MB	Block foam, slabstock or contour cut (conventional) اسفنج بلوکی ، اسلب استاک یا برش خورده (متداول)
	HB	Block foam, slabstock or contour cut (high resilience) اسفنج بلوکی ، اسلب استاک یا برش خورده (جهندگی زیاد)
II	LM	Moulded [low resilience (known as “viscoelastic”)] اسفنج قالبگیری شده (جهندگی کم [ویسکوالاستیک])
	MM	Moulded (conventional) اسفنج قالبگیری شده (متداول)
	HM	Moulded (high resilience) اسفنج قالبگیری شده (جهندگی زیاد)
III	RE	Reconstituted or bonded اسفنج بازسازی شده یا پیوند داده شده

Таблица 1 — Типы пены

Обычные и высокоэластичные (HR) пеноматериалы различаются по физическим характеристикам. Основные отличия связаны с упругостью и коэффициентом проседания, которые важны для комфорта, поддержки тела и общего поведения материала. Обычно у HR-пены показатель отскока превышает 60%, а коэффициент проседания составляет 2,2–3,0; у обычной пены отскок менее 60%, а коэффициент проседания — 1,7–2,0. Более высокий коэффициент HR-пены позволяет сочетать начальную мягкость с лучшей поддержкой тела при значительной деформации, улучшая комфорт и долговечность.

4-1-2- Градация



Рисунок 16 — Жёсткость пены (IFD) как критерий оценки

Градации пенополиуретана определяют по усилию вдавливания (IFD), измеренному методом А стандарта ISO 2439, как показано в таблице 2.

Grade	Indentation hardness index (N)
30	25 to 40
50	41 to 60
70	61 to 85
100	86 to 110
130	115 to 150
170	155 to 190
210	195 to 235
270	240 to 295
330	300 to 360
400	365 to 425
470	430 to 520
600	525 to 650

Таблица 2 — Градации пены по исходной жёсткости

4-1-3- Класс

За исключением пен MM и RE, остальные типы подразделяются на пять классов по результатам испытания на усталость многократными ударами с постоянной нагрузкой по ISO 3385. Каждый класс характеризует долговечность пены и способность сохранять жёсткость после усталостного воздействия. Условия применения и допустимые потери жёсткости приведены в таблице 3.

Class رده	Type of service نوع کاربرد	Hardness loss ratio, P (%) نسبت افت سختی، P : (%)
X	Exceptionally severe بسیار بسیار سنگین	$0 \leq P < 12$
V	Very severe بسیار سنگین	$12 \leq P < 22$
S	Severe سنگین	$22 \leq P < 32$
A	Average متوسط	$32 \leq P < 39$
L	Light سبک	$39 \leq P < 45$



NOTE توضیح

The hardness loss ratio is calculated from the following formula:

نسبت افت سختی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{H - F}{H} \times 100$$

where
که در آن:

- P is the hardness loss ratio (%).
نسبت افت سختی (%).
- H is the initial hardness index (N).
 H : شاخص سختی اولیه (نیوتن).
- F is the final hardness index (N).
 F : شاخص سختی نهایی (نیوتن).

Таблица 3 — Классы пены и соответствующие области применения

Помимо таблицы 3, ISO 5999 содержит графики для определения класса пены; некоторые показаны на рисунке 17. Класс можно определить по исходной жёсткости (Initial IFD) и потере жёсткости после испытания ($H - F$), где H — исходная жёсткость, а F — жёсткость после испытания.

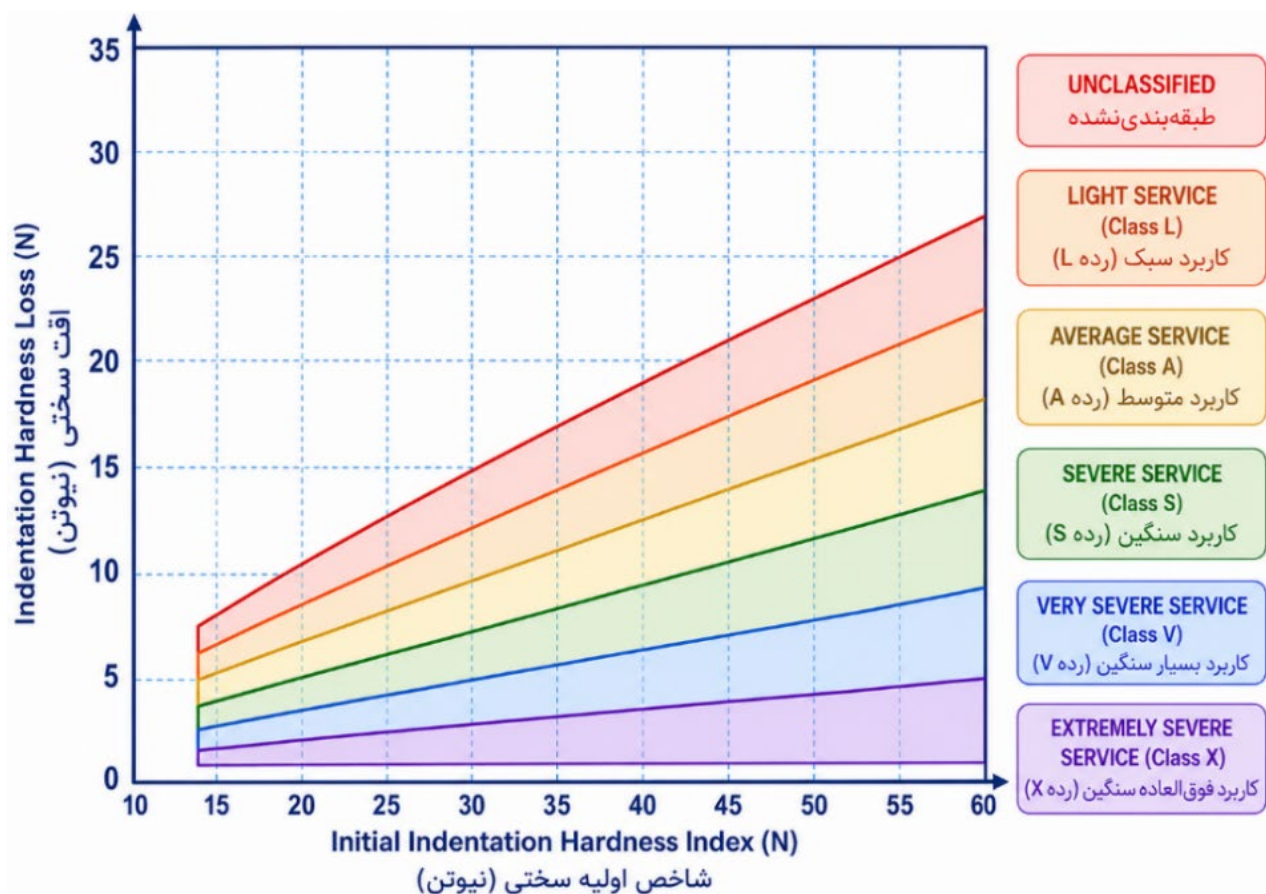


Рисунок 17 — Классификация пены по исходной жёсткости и её потере

4-2- Рекомендуемые области применения для классов эластичного пенополиуретана

Поскольку классы пенополиуретана устанавливаются по результатам испытания на усталость при многократном нагружении постоянной нагрузкой, каждый класс отражает стойкость материала к определённым условиям эксплуатации. Пены с меньшей потерей жёсткости после испытания и более высоким классом могут применяться в более тяжёлых условиях и отличаются большей долговечностью. Однако одного класса недостаточно для выбора: следует учитывать исходную жёсткость (IFD) и толщину пены, поскольку фактические характеристики зависят от всех трёх факторов. Например, две пены одного класса могут по-разному работать из-за различий исходной жёсткости или толщины. В таблице 4 представлены рекомендации ISO 5999 или INSO 8135:2026 для типичных применений. Указанный для каждого применения класс является минимально рекомендуемым; использование более высокого класса допускается и обычно обеспечивает лучшую долговечность и сохранение характеристик со временем.

Class	Recommended application	کاربرد توصیه شده
X	- Heavy-duty seats in continuous use by the public (contract furniture) - Heavy-duty public transport seats	نشیمن صندلی مبلمان مخصوص کار سنگین در حال استفاده مداوم توسط عموم نشیمن های مخصوص کار سنگین حمل و نقل عمومی
V	- Private and commercial vehicle drivers' seats - Public transport seats - Cinema and theatre seats - Office furniture seats or seats used by the public (contract furniture)	نشیمن صندلی های رانندگان وسایل نقلیه شخصی و تجاری نشیمن صندلی های حمل و نقل عمومی نشیمن صندلی های سینما و تئاتر نشیمن صندلی های مبلمان اداری یا صندلی های مورد استفاده عموم (مبلمان قراردادی)
S	- Private and commercial vehicle passenger seats - Domestic furniture seats - Public transport seat backs and armrests - Cinema and theatre seat backs and armrests - Contract (commercial) furniture backs and armrests	نشیمن صندلی های مسافری وسایل نقلیه شخصی و تجاری نشیمن صندلی های مبلمان خانگی پشتی و دسته صندلی های حمل و نقل عمومی پشتی و دسته صندلی های سینما و تئاتر پشتی و دسته صندلی مبلمان قراردادی (تجاری)
A	- Private vehicle seat backs and armrests - Domestic furniture backs and armrests	پشتی و دسته صندلی های وسایل نقلیه شخصی پشتی و دسته صندلی های مبلمان خانگی
L	- Padding - Scatter cushions or throw pillows - Other pillows	پدگذاری بالشتک های تزیینی یا کوسن سایر بالش ها

Таблица 4 — Рекомендуемые области применения

4-3- Обозначение эластичных пенополиуретанов

Эластичные пенополиуретаны обозначают и классифицируют по типу, классу и градации. Сначала указывают тип пены, затем класс и градацию. Например, НВ-V-170(I) означает высокоэластичный блочный пеноматериал для очень тяжёлых условий эксплуатации с исходным показателем жёсткости 170 Н.

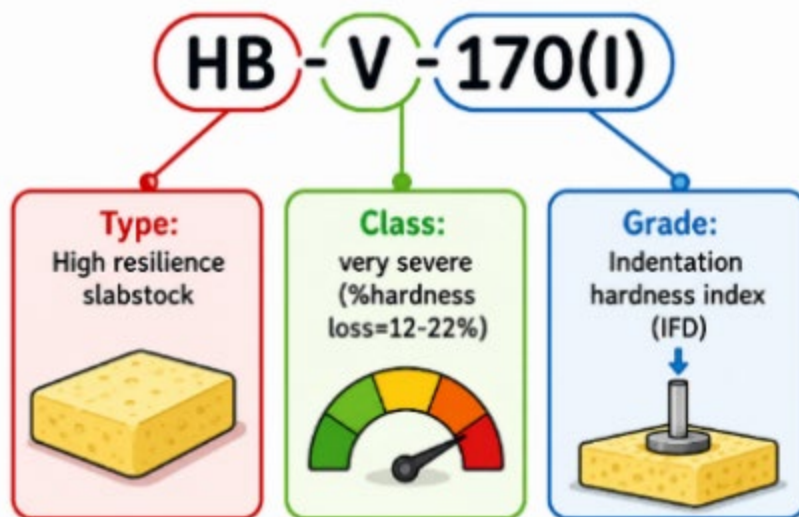


Рисунок 18 — Система обозначения пенополиуретана

4-4- Требования к физическим свойствам

После определения типа, класса и градации физические свойства пены должны соответствовать требованиям стандарта. По ISO 5999 или иранскому национальному стандарту INSO 8135:2026 для каждого типа и класса предусмотрены допустимые диапазоны физических характеристик. Они служат основой оценки качества и обеспечения надлежащей работы в различных применениях. Допустимые значения для каждого типа приведены в таблице 5.

Следует отметить, что требования к классификации, обозначению и физическим свойствам эластичных пенополиуретанов, модифицированных для улучшения характеристик при горении, приведены в BS 3379.

TYPE I		Class														
Property	Test method	LB					MB					HB				
		X	V	S	A	L	X	V	S	A	L	X	V	S	A	L
Hardness loss ratio, %	ISO 3385	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45
Compression set ^a , %, max	ISO 1856	8	8	12	15	15	— ^b	6	10	10	10	8	8	12	15	15
Elongation at break, %, min	ISO 1798	100	90	90	90	90	— ^b	150	150	150	150	100	90	90	90	90
Tensile strength, kPa, min	ISO 1798	50	50	50	40	40	— ^b	70	70	70	60	50	50	50	50	50
Tensile strength after humidity ageing ^b , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	35	25	25	15	15	— ^b	55	55	55	50	35	35	35	35	35
Change in tensile strength after humidity ageing ^b , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tensile strength after heat ageing ^c , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	35	35	25	35	35	— ^b	55	55	55	50	35	35	35	35	35
Change in tensile strength after heat ageing ^c , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Resilience, %	ISO 8307	15 max					— ^e					— ^e				

TYPE II		Class															
Property	Test method	LM					MM	HM									
		X	V	S	A	L	— ^a	X	V	S	A	L	X	V	S	A	L
Hardness loss ratio, %	ISO 3385	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45	— ^b	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45	Under 12	12–22	22–32	32–39	39–45
Compression set ^a , %, max	ISO 1856	8	8	12	15	15	— ^b	8	8	12	15	15	8	8	12	15	15
Elongation at break, %, min	ISO 1798	100	90	90	90	90	— ^b	100	90	90	90	90	100	90	90	90	90
Tensile strength, kPa, min	ISO 1798	50	50	50	40	40	— ^b	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Tensile strength after humidity ageing ^b , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	35	25	25	15	15	— ^b	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Change in tensile strength after humidity ageing ^b , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tensile strength after heat ageing ^c , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	35	35	35	35	35	— ^b	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Change in tensile strength after heat ageing ^c , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Resilience, %	ISO 8307	15 max					— ^b	— ^f									

- ^a At 75 % compression for 22 h at 70 °C.
- ^b Not applicable.
- ^c Maintaining the test pieces at 105 °C and 100 % relative humidity for 3 h.
- ^d Maintaining the test pieces at 140 °C for 16 h.
- ^e Normally resilience of “MB” and “HB” is over 50 %.
- ^f Normally resilience of “HM” is over 50 %.

TYPE III (RE)		
Property	Test method	V or X
Hardness loss ratio, %	ISO 3385	Under 22
Compression set ^a , %, max	ISO 1856	25
Elongation at break, %, min	ISO 1798	40
Tensile strength, kPa, min	ISO 1798	50
Tensile strength after humidity ageing ^b , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	— ^b
Change in tensile strength after humidity ageing ^b , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30
Tensile strength after heat ageing ^c , kPa, min	ISO 2440 ISO 1798	— ^b
Change in tensile strength after heat ageing ^c , %, max	ISO 2440 ISO 1798	30
Resilience, %	ISO 8307	— ^b

- ^a Not applicable.
- ^b At 75 % compression for 22 h at 70 °C.
- ^c Maintaining the test pieces at 105 °C and 100 % relative humidity for 3 h.
- ^d Maintaining the test pieces at 140 °C for 16 h.
- ^e Normally resilience of “MB” and “HB” is over 50 %.
- ^f Normally resilience of “HM” is over 50 %.

Таблица 5 — Требования к физическим свойствам различных типов эластичного пенополиуретана