УДК 691.175

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭКСТРУЗИОННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПЕНОПЛЭКС® НА ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А. А. Мамонтов, В. П. Ярцев, А. А. Максимова

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; kardinal61@mail.ru

Ключевые слова и фразы: водопоглощение; жесткость; кажущаяся плотность (объемный вес); прочность; теплопроводность; термическое расширение; экструзионный пенополистирол.

Аннотация: Показано, что характерной особенностью вспененных пластмасс является зависимость их физических и механических свойств от объемного веса. Проанализированы результаты исследования прессового и беспрессового пенополистирола различной плотности. Выявлена необходимость рассмотрения данного вопроса для широко применяемого в строительстве экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС®. Исследовано влияние объемного веса теплоизоляционных плит ПЕНОПЛЭКС® на их водопоглощение, теплопроводность, термическое расширение, прочность и жесткость. Установлено, что с повышением плотности материала водопоглощение практически не меняется, прочность и жесткость возрастают, а теплопроводность и термическое расширение изменяются по параболическому закону. Сделан вывод о целесообразности производства плит ПЕНОПЛЭКС® плотностью до 40 кг/м^3, имеющих лучшие качественные показатели, что способствует снижению материальных и энергетических затрат изготовителя.

Вспененные пластмассы широко применяются в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов при строительстве зданий и сооружений. Основным показателем, характеризующим структуру пенопластов, является кажущаяся плотность (объемный вес), косвенно выражающая соотношение твердой и газообразной фаз в материале. Твердая фаза представляет собой полимер, распределенный в виде тяжей (стержней), вершин (узлов) и тонких оболочек (пленок), образующих ячейки, заполненные газом. Кажущаяся плотность пенопластов определяется истинной плотностью полимерной основы и газа, находящегося в ячейках. Она зависит от количества газообразователя и полимера-основы. Увеличение объемной доли последнего приводит к уменьшению числа полостей в пенопласте и росту его плотности [1].

Характерной особенностью вспененных пластмасс является зависимость их физических и механических свойств от объемного веса. Результаты исследования

прессового и беспрессового пенополистирола различной плотности показывают, что с ее уменьшением водопоглощение пенопластов возрастает из-за нарушения равномерности структуры и увеличения размеров ячеек. Теплопроводность пенополистирола с уменьшением плотности снижается, при этом существует оптимальное значение плотности, выше и ниже которого коэффициент теплопроводности увеличивается. Установлено, что при 20…40 кг/м^3 коэффициент практически постоянен, а при плотности менее 20 кг/м^3 он увеличивается. Объемный вес влияет на поведение пенопластов при повышенных температурах: большее снижение формоустойчивости характерно для материала с меньшей плотностью. С повышением плотности прочность и жесткость пенополистирола возрастают. В небольших диапазонах колебаний плотности имеется линейная корреляционная связь между прочностью, модулем упругости и объемным весом. В широком диапазоне изменения плотности эта связь имеет параболический характер [2 – 4].

При установлении зависимости физических свойств экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® от объемного веса проводились испытания на водопоглощение, теплопроводность и термическое расширение серий образцов с предварительно установленной плотностью.

Объемное водопоглощение образцов определялось замачиванием их в воде на 24 часа. За окончательный результат принималось среднее арифметическое значение водопоглощения для каждой серии. Из рисунка 1 видно, что водопоглощение экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® практически не зависит от величины его средней плотности в исследуемом диапазоне. С увеличением плотности материала с 30 до 50 кг/м^3 его водопоглощение изменяется всего на 0,25 %.

Влияние объемного веса на теплотехнические свойства пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® оценивалось по коэффициенту теплопроводности, который измерялся на приборе ИТП-МГ «100» для образцов с известной плотностью (рис. 2).

Результаты, приведенные на рис. 2, показывают, что существует оптимальное значение кажущейся плотности, выше и ниже которого коэффициент теплопроводности увеличивается. При плотности 38…45 кг/м^3 коэффициент примерно постоянен, а при плотности менее 38 кг/м^3 наблюдается его увеличение. Такое поведение материала объясняется возрастающим влиянием газа, находящегося в ячейках, на процесс теплопроводности.

Исследование зависимости термического расширения ПЕНОПЛЭКС® от кажущейся плотности проводилось на оптическом дилатометре. На рисунке 3 представлены дилатометрические кривые образцов экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® с различным объемным весом.

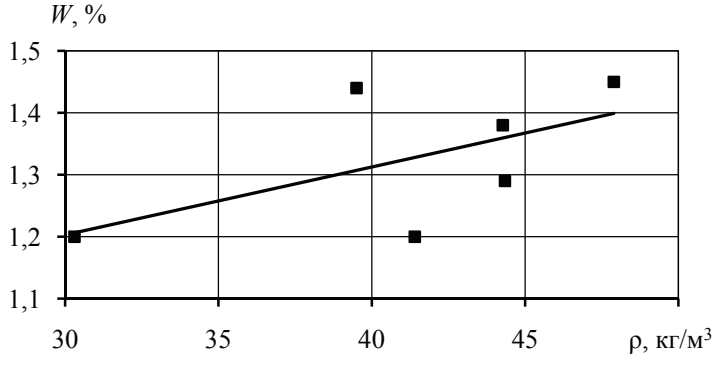


Рис. 1. Зависимость величины объемного водопоглощения *W* экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® от кажущейся плотности ρ

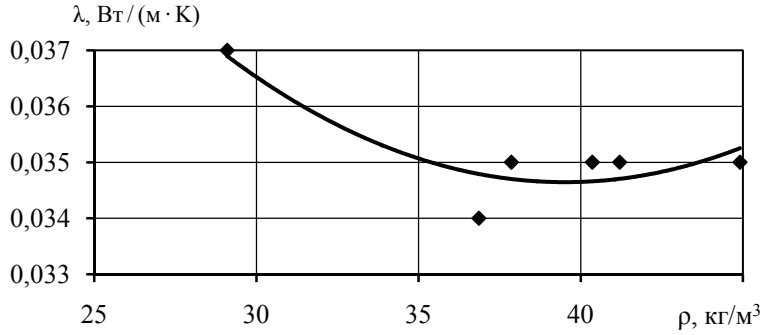


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности λ экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® от кажущейся плотности ρ

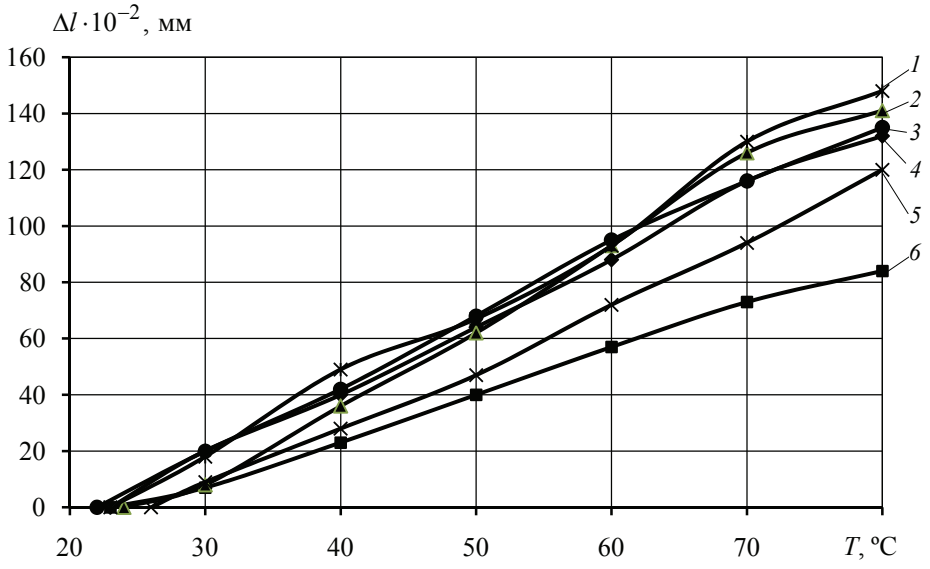


Рис. 3. Дилатометрические кривые образцов экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® разной кажущейся плотности, кг/м^3:
1 – 41,9; *2* – 36,7; *3* – 43,8; *4* – 25,9; *5* – 41,4; 6 – 36,2

Очевидно, что зависимость термического расширения от объемного веса экструзионного пенополистирола имеет сложный характер. С увеличением плотности материала от 25,9 до 36,2 кг/м^3 расширение исследуемого пенопласта уменьшается. Однако дальнейший рост плотности до 43,8 кг/м^3 увеличивает тепловые деформации.

По полученным кривым рассчитаны значения коэффициента линейного термического расширения (**КЛТР**) (α, 1/ºС) и построена графическая зависимость данной величины от кажущейся плотности исследуемого пенопласта. На рисунке 4 показано, что существует оптимальная кажущаяся плотность экструзионного пенополистирола, при которой данный материал имеет минимальное термическое расширение. Наблюдается схожий характер изменения коэффициента термического расширения с теплопроводностью ПЕНОПЛЭКС®, что, вероятно, объясняется особенностями передачи и распространения тепла в газонаполненных пластмассах.

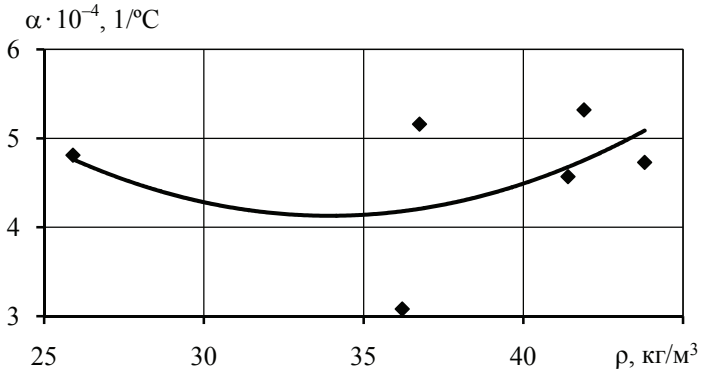


Рис. 4. Зависимость коэффициента линейного термического расширения α от кажущейся плотности ρ ПЕНОПЛЭКС®

В целях исследования влияния объемного веса экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® на его механические свойства проводились кратковременные испытания поперечным изгибом, сжатием и пенетрацией. Влияние плотности ПЕНОПЛЭКС® на прочность при поперечном изгибе оценивалось по изменению предела прочности ($R_{изг}$), определяемому результатами испытаний серий образцов с известным объемным весом. Графическая интерпретация полученных экспериментальных данных представлена на рис. 5, где показано, что с увеличением плотности ПЕНОПЛЭКС® происходит рост его прочности при поперечном изгибе. Связано это с увеличением доли полимера-основы в общем объеме пеноматериала. Тяжи становятся толще, и для их разрушения требуется приложить больше усилий. Максимальное значение предела прочности наблюдается у образцов с объемным весом, близким к 40 кг/м^3. При дальнейшем росте плотности материала прочность его практически не изменяется.

Влияние объемного веса пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® на его деформационные свойства изучалось посредством сжатия образцов различной плотности. Прочность образцов оценивалась по величине относительных деформаций ε при постоянном напряжении, действующем в течение заданного времени. Результаты исследования представлены на рис. 6, показывающем, что увеличение плотности

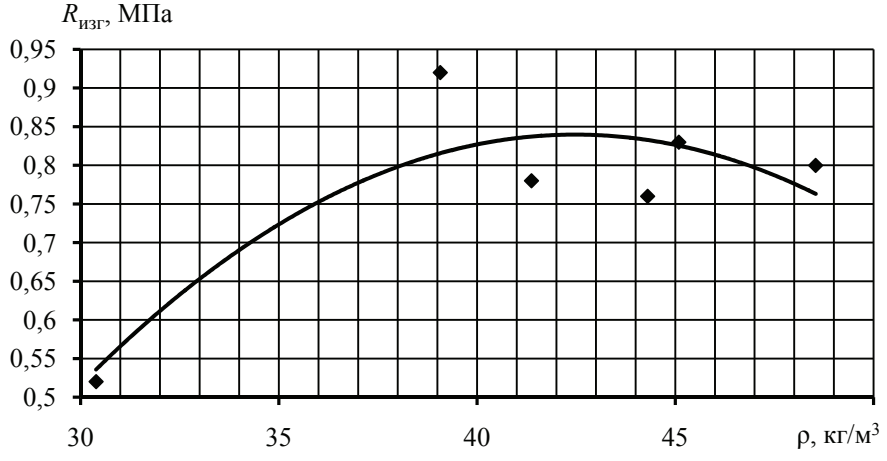


Рис. 5. Влияние кажущейся плотности ρ экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® на предел прочности при поперечном изгибе $R_{изг}$

пенополистирола сопровождается уменьшением его сжимаемости. Относительная деформация сжатия образцов с объемным весом около 40 кг/м^3 составила примерно 2 %, что в 20 раз меньше, чем у образцов с плотностью 30 кг/м^3. Объясняется это увеличением объемной доли полимера, что, в свою очередь, снижает число полостей в пенопласте, а тяжи и стенки ячеек делают его более устойчивыми. Дальнейший рост плотности практически не изменяет деформационных свойств материала.

Прочность при пенетрации образцов ПЕНОПЛЭКС® с разным объемным весом определялась по величине локальных напряжений, возникающих при вдавливании стального шарика диаметром 10 мм постоянной нагрузкой в течение заданного времени. Зависимость твердости НВ экструзионного пенополистирола от кажущейся плотности ρ представлена на рис. 7. Очевидно, что с увеличением плотности ПЕНОПЛЭКС® растет величина локальных напряжений, а значит и твердость его поверхности. Наибольшей твердостью характеризуются образцы с объемным весом около 45 кг/м^3. Такое поведение пенополистирола также связано с увеличением содержания полимера-основы.

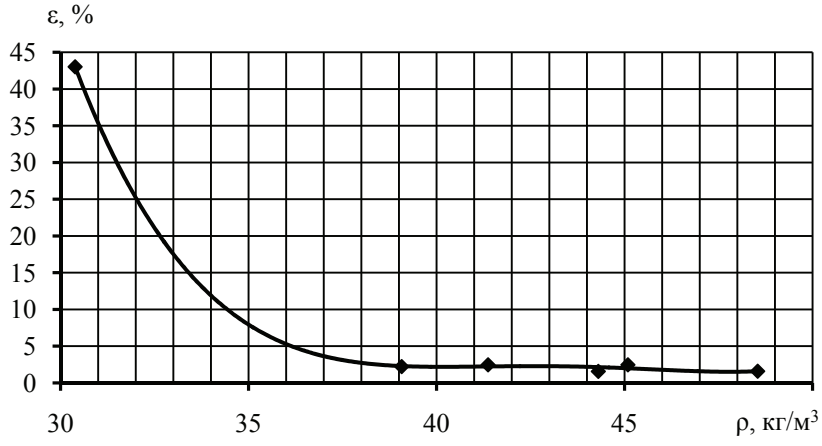


Рис. 6. Зависимость величины относительной деформации сжатия ε экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® от кажущейся плотности ρ

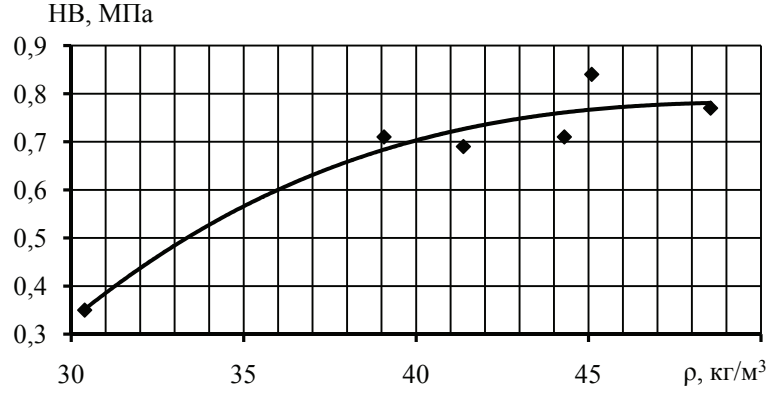


Рис. 7. Влияние кажущейся плотности ρ экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® на его твердость НВ

Таким образом, полученные в ходе исследований результаты соотносятся с приведенными в литературе положениями о влиянии объемного веса пенопластов на их физические и механические характеристики. С повышением плотности экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® его прочность и жесткость возрастают, а теплопроводность и термическое расширение изменяются по параболическому закону. На основе этого можно сделать вывод о целесообразности производства плит ПЕНОПЛЭКС® плотностью до 40 кг/м^3, имеющих лучшие физико-механические характеристики, что способствует снижению материальных и энергетических затрат изготовителя.

Список литературы

1. Воробьев, В. А. Полимерные теплоизоляционные материалы / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов. – М. : Стройиздат, 1972. – 320 с.

2. Пособие по физико-механическим характеристикам строительных пенопластов и сотопластов / И. Г. Романенков [и др.]. – М. : Стройиздат, 1977. – 80 с.

3. Павлов, В. А. Пенополистирол / В. А. Павлов. – М. : Химия, 1973. – 240 с.

4. Ярцев, В. П. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений : учеб. пособие / В. П. Ярцев, К. А. Андрианов, Д. В. Иванов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 120 с.

The Influence of Density of the Extrusion Foam Polystyrene PENOPLEX® on its Physical-Mechanical Properties

A. A. Mamontov, V. P. Yartsev, A. A. Maksimova

Department "Structure of Buildings and Constructions", TSTU;
kardinal61@mail.ru

Key words and phrases: apparent density (volumetric weight); extruded foamed polystyrene; rigidity; strength; thermal conductivity; thermal expansion; water absorption.

Abstract: It is shown, that a characteristic feature of the foamed plastics is the dependence of their physical and mechanical properties on volumetric weight. The results of the research of the expanded polystyrene with different densities were analyzed. The need to consider this issue for the commonly used in the construction extrusion foam polystyrene PENOPLEX® was identified. The impact of the volumetric weight of the heat-insulating plates PENOPLEX® on its water absorption, thermal conductivity, thermal expansion, strength and rigidity was considered in the article. It was shown, that with increasing density of material the water absorption practically does not change, the strength and rigidity increase, the thermal conductivity and thermal expansion change according to the parabolic law. The conclusion about the expediency of the production of boards PENOPLEX® with density about 40 kg/m^3, which improves the quality indicators, and helps to the reduce material and energy costs of manufacturer.

References

1. Vorob'ev V.A., Andrianov R.A. *Polimernye teploizolyatsionnye materialy* (Polymeric insulating materials), Moscow: Stroiizdat, 1972, 320 p.

2. Romanenkov I.G., Panferov K.V., Artyushina A.A. ets. *Posobie po fizikomekhanicheskim kharakteristikam stroitel'nykh penoplastov i sotoplastov* (Manual on

the physico-mechanical characteristics of construction foams and honeycombs), Moscow: Stroiizdat, 1977, 80 p.

3. Pavlov V.A. *Penopolistirol* (Expanded polystyrene), M.oscow: Khimiya, 1973, 240 p.

4. Yartsev V.P., Andrianov K.A., Ivanov D.V. *Fiziko-mekhanicheskie i tekhnologicheskie osnovy primeneniya penopolistirola pri dopolnitel'nom uteplenii zdanii i sooruzhenii* (Physical, mechanical and technological basis for the use of expanded polystyrene with additional insulation of buildings and structures), Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2010, 120 p.

Einfluss der Dichte des Extrusionsschaumpolystyrols PENOPLEX® auf seine physikalisch-mechanischen Eigenschaften

Zusammenfassung: Es ist gezeigt, dass das Charakteristikum der geschäumten Plasten die Abhängigkeit ihrer physikalischen und mechanischen Eigenschaften vom räumlichen Gewicht ist. Es sind die Ergebnisse der Forschung des Pressen- und Unpressenpolystyrols verschiedener Dichte analysiert. Es ist die Notwendigkeit der Betrachtung der gegebenen Frage für das im Bau breit verwendenden Extrusionsschaumpolystyrols Penoplex® gezeigt. Es ist der Einfluss des räumlichen Gewichts der wärmeisolierenden Platten Penoplex® auf ihre Wasseraufnahme, die Wärmeleitfähigkeit, die thermische Erweiterung, die Haltbarkeit und die Härte untersucht. Es ist bestimmt, dass sich mit der Erhöhung der Dichte des Materials die Wasseraufnahme tatsächlich nicht ändert, die Haltbarkeit und die Härte wachsen, und Wärmeleitfähigkeit und die thermische Erweiterung ändern sich nach dem parabolischen Gesetz. Es ist die Schlussfolgerung über die Zweckmäßigkeit der Produktion der Platten Penoplex® von der Dichte bis zu 40 kg/m^3, die die besten Qualitätskennziffern haben, was zur Senkung der Materiell- und Energieausgaben des Herstellers beiträgt, gezogen.

Influence de la densité de la mousse polystyrène extrudée PENOPLEX® sur ses propriétés mécaniques

Résumé: Est montré que la particularité caractéristique des matières plastiques mousseuses est la dépendance de leurs propriétés physiques et mécaniques du poids de volume. Sont analysés les résultats de l'étude de la mousse polystyrène de et sans presse de différente densité. Est montrée la nécessité de l'examen de ce problème pour la mousse polystyrène extrudée Penoplex® qui est largement utilisée dans l'industrie. Est étudiée l'influence du poids de volume des plaques isolantes Penoplex® sur l'adsorption d'eau, la conductibilité thermique, l'élargissement thermique, la solidité et la rudesse. Est faite la conclusion de la nécessité de la production des plaques Penoplex® de la densité de 40 kg/m^3, ayant les meilleurs indices qualitatives ce qui contribuent à la diminution des dépenses matérielles et énergétiques du fabricant.

Авторы: ***Мамонтов Александр Александрович*** – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; ***Ярцев Виктор Петрович*** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»; ***Максимова Анастасия Алексеевна*** – студент, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: ***Монастырев Павел Владиславович*** – доктор технических наук, директор Института архитектуры, строительства и транспорта, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».