ЦНИИСК ИМ. КУЧЕРЕНКО

ПОСОБИЕ

ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ

Москва — 1977

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

ПОСОБИЕ

ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ

Москва Стройиздат 1977

УДК 691.175—405.8-53

Пособие по физико-механическим характеристикам строительных пенопластов и сотопластов. М., Стройиздат, 1977. 79 с.

Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР.

В пособие включены основные данные по физико-механическим и эксплуатационным характеристикам различных видов жестких пенопластов и сотопластов строительного назначения.

Пособие разработано ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко (д-р техн. наук И. Г. Романенков, канд. техн. наук К. В. Панферов, А. А. Артюшина, В. М. Бобряшов, А. И. Вахрушев, П. В. Годило, В. А. Иванов, К. В. Козлов, В. В. Копчинов, инженеры Б. Л. Аронов, Л. В. Брагина, В. А. Орлов, М. И. Полонская, Г. В. Чоговадзе) при участии институтов: ЛенЗНИИЭП (д-р техн. наук А. Н. Крашенинников, канд. техн. наук И. А. Казанцева, А. В. Галактионов, Н. Г. Шплет), инж. Ю. А. Семенова; СибЗНИИЭП (канд. техн. наук А. А. Безверхов, инж. А. И. Метлина) и ВНИИСТ (инж. В. Я. Шапошников).

П $\frac{30213\text{-}566}{047(01)\text{-}77}$ Инструкт.-нормат., IV вып.—20—76

© Стройиздат, 1977

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В пособие включены различные виды жестких пенопластов и сотопластов строительного назначения, которые применяются в качестве заполнителей и других конструктивных элементов легких ограждающих конструкций.

1.2. К пенопластам и сотопластам относятся полимерные материалы, у которых газовая фаза составляет не менее 80% (по объему), а минимальный размер ячеек структуры превышает 0,01 мм.

1.3. Пенопласты изготовляются вспениванием вязко-жидких композиций или твердых полуфабрикатов. По способу получения пенопласты подразделяются на заливочные, беспрессовые и прессовые.

Сотопласты вырабатываются посредством склеивания и профилирования тонколистовых материалов, обработанных полимерными композициями.

1.4. Пенопласты и сотоплаты классифицируются по виду полимерной основы.

В зависимости от вида полимерной основы пенопласты подразделяются на: полистирольные, фенолоформальдегидные, карбамидные, полиуретановые и поливинилхлоридные. Возможно изготовление пенопластов на основе совмещенных полимерных композиций, а также с использованием органических и минеральных наполнителей.

В зависимости от вида основы строительные сотопласты подразделяются на бумажные и тканевые. Основой бумажных сотопластов являются: изоляционная, кабельная, битуминизированная и оберточная бумага, крафт-бумага, обработанные фенолоформальдегидными, карбамидными, полиэфирными, фосфатными и другими композициями. Основой тканевых сотопластов являются хлопчатобумажные, стеклянные ткани, обработанные фенолоформальдегидными, полиэфирными и другими композициями.

1.5. Объемная масса пенопластов составляет 10—200 кг/м^3. В зависимости от вида полимерной основы объемная масса пенопластов может составлять (кг/м^3): беспрессовых полистирольных — 20—60; фенолоформальдегидных — 40—200; полиуретановых — 40—60; карбамидных —10—40; поливинилхлоридных и полистирольных —40—120. Объемная масса наполненных пенопластов не должна превышать 200 кг/м^3.

Объемная масса сотопластов составляет 10—150 кг/м^3. Размер стороны сотовой ячейки сотопластов 5—36 мм.

1.6. Пенопласты изготовляются как в отдельных формах в виде плит, так и непосредственно в полости конструкций в виде блоков-заполнителей.

Сотопласты изготовляют в виде плит ограниченных размеров и в виде блоков-заполнителей на полное сечение конструкций или кратное ему.

1.7. Плиты и блоки изготовляют в соответствии со стандартами и техническими условиями на пенопласты и сотопласты или на конструкции с пено- и сотопластовыми заполнителями. Марки и основ-

Таблица 1

Наименование	Нормативный документ	Объемная масса, кг/м³	Исходные компоненты	Методы изготовления	Стоимость 1 м³, руб.
1. Беспрессовый полистирольный пенопласт марки ПСБС	ГОСТ 15588—70*	25—40	Полистирол суспензионный вспенивающийся, представляющий собой продукт суспензионной полимеризации стирола в присутствии порообразователя и огнезащитной добавки	Пенопласт изготовляют путем предварительного подвспенивания гранул полистирола и последующего формования материала. Формование производится либо в отдельных формах, либо непосредственно в полости конструкции	40—10
2. Беспрессовый полистирольный пенопласт марки ПСБ	ГОСТ 15588—70*	20—40	Полистирол суспензионный вспенивающийся, представляющий собой продукт суспензионной полимеризации стирола в присутствии порообразователя	То же	35—80
3. Беспрессовый полистирольный модифицированный пенопласт марки ПСБ-МП	—	80—160	Полистирол суспензионный вспенивающийся, минеральный наполнитель — вспученный перлит, связующее — силикатное или органическое	Пенопласт изготовляют путем предварительного подвспенивания гранул полистирола, смешения их со связующим и минеральным наполнителем и последующего формования на установках или непосредственно в полости конструкций	30—60
4. Полистирольный пенопласт марки ПС-1, ПС-4	МРТУ 6-05-1178-69	40—100	Полистирольные композиции, содержащие вспенивающий агент	Пенопласты изготовляют по прессовой технологии путем вспенивания полимерных заготовок	70—110
5. Фенолоформальдегидный пенопласт, заливочный марки ФРП-1	ВТУ, ВНИИСС № 50-65	60—100	Фенолоформальдегидная смола резольного типа марки ФРВ-1А и вспенивающе-отверждающий агент продукт ВАГ-3	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	40—60
6. Фенолоформальдегидный пенопласт, заливочный марки Виларес-5	МРТУ 6-05-221-224-72	60—80	Фенолоформальдегидная смола резольного типа ФРВ-4: вспенивающий агент — петролинейный эфир, продукт ДН	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	30—50
7. Фенолоформальдегидный пенопласт заливочный марки ФЛ-1	ВТУ, ЛенЗНИИЭП № 1—73	60—200	Фенолоформальдегидная смола резольного типа ВИАМ-Б, продукт ОП-7 или ОП-10, алюминиевая пудра ПАК-3, соляная кислота, контакт Петрова	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	36—120

Продолжение табл. 1

Наименование	Нормативный документ	Объемная масса, кг/м³	Исходные компоненты	Методы изготовления	Стоимость 1 м³, руб.
8. Фенолоформальдегидный пенопласт, заливочный марки ФЛ-2	ВТУ ЛенЗНИИЭП № 2—73	40—200	Фенолоформальдегидная смола резольного типа ВИАМ-Б, продукт ОП-7 или ОП-10, алюминиевая пудра ПАК-3, ортофосфорная кислота, раствор бензолсульфокислоты в этиленгликоле	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в конструкцию	25—120
9. Фенолоформальдегидный пенопласт, заливочный марки ФЛ-3	ВТУ ЛенЗНИИЭП № 3—73	40—200	Фенолоформальдегидная смола резольного типа ВИАМ-6, карбамидная смола УКС или М-19-62, продукт ОП-7 или ОП-10, алюминиевая пудра ПАК-3, ортофосфорная кислота, раствор бензосульфокислоты в этиленгликоле	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в конструкцию	20—100
10. Фенолоформальдегидный пенопласт марки ФПБ	ТУ 66-20-4-74	60—80	Фенолоформальдегидная смола резольного типа марки Б, вспенивающий агент ВОА и алюминиевая пудра ПАП-1 или ПАП-2	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и вспенивания композиции в отдельных формах	35—45
11. Строительный заливочный пенопласт марки ЗСП-1	—	50—80	Фенолоформальдегидная смола резольного типа ФРВ, полиэфирная смола рецептуры № 3, катализатор триэтиламин, стабилизатор пены КЭП-1, сшивающий агент — диуретандиэтиленгликоль	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении жидких компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	80—120 (ориентировочно)
12. Фенолополистирольный пенопласт марки ПСФ-ВНИИСТ	—	70—120	Фенолоформальдегидная смола резольного типа марки ФРВ-1А, вспенивающе-отверждающий агент ВАГ-3, наполнитель — подвспененные гранулы полистирола	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	70—100 (ориентировочно)
13. Перлитопластбетон ППБ	—	90—180	Новолачные смолы марок ФФ-18, ФА-15, газообразователь — порофор ЧХЗ-57; отвердитель — уротропин, наполнитель — вспученный перлитовый песок	Перлитопластбетон получают путем вспенивания предварительно размельченной композиции из новолачных смол, наполнителя, отвердителя и газообразователя до удельной поверхности 0,45—0,55 м²/г с последующим ее отверждением при Т=110—180° С в течение трех часов	70—100

Продолжение табл. 1

Наименование	Нормативный документ	Объемная масса, кг/м³	Исходные компоненты	Методы изготовления	Стоимость 1 м³, руб.
14. Полиуретановый пенопласт, заливочный рецептуры ЗС	ТУВ-56-70	50—70	Полиэфир рецептуры № 3; стабилизатор пены ОП-10, катализатор — диметилбензиламин, огнегасящая добавка — трихлорэтилфосфат, вспенивающий агент — вода, сшивающий агент — диуретандиэтиленгликоль	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	160—200
15. Полиуретановый пенопласт рецептуры 308Н	—	40—60	Лапромол 294, полиэфир рецептуры № 3, огнегасящая добавка — трихлорэтилфосфат, стабилизатор пены КЭП-1, вспенивающий агент — фреон, сшивающий агент — полиизоцианат	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	420 (ориентировочно)
16. Полиуретановый пенопласт, заливочный рецептуры 308-М-9	—	45—60	Лапромол 294, полиэфир П-517, лапрол 805, полиизоцианат, бутандиол; огнегасящая добавка — ТХЭФ; стабилизатор пены КЭП-I; вспенивающий агент — вода,	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции непосредст-	210—240
17. Полиуретановый пенопласт, заливочный рецептуры 316	—	45—60	фреон; катализатор — диметилэтаноламин Лапромол 294, лапрол 805, фосфомол-II, этиленгликоль; полиизоцианат, огнегасящая добавка ТХЭФ; стабилизатор пены КЭП-1 или ВНИИЖ; вспенивающий агент — вода, фреон; катализатор 20% ДАБКО в диметилэтаноламине	венно в форму или в полость конструкции Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	250—280
18. Полиизоциануратный пенопласт заливочный рецептуры «изолан»	—	40—60	Продукт КТ-2, полиэфир 518, полиизоцианат; огнегасящая добавка ТХЭФ; стабилизатор пены КЭП-1, талловое масло; вспенивающий агент — вода, фреон II	Пенопласт изготовляют путем смешения в заданном соотношении компонентов и заливки композиции в отдельную форму или непосредственно в полость конструкции	300—400
19. Мочевиноформальдегидный пенопласт заливочный марки МФП-1, МФП-2	—	10—30	Для МФП-1: карбамидные смолы типа УКС или МФ-1 и АВО-1, для МФП-2: карбамидные смолы УКС и М-19-62 и АВО-2	Пенопласт получают путем физического вспенивания поверхностно-активного вещества вместе с кислым катализатором (ортофосфорной кислотой) и целевыми добавками. В полученную пену вводится разбрызгиваемая под давлением мочевиноформальдегидная смола, которая фиксирует пеноструктуру	8—10

Продолжение табл 1

Наименование	Нормативный документ	Объемная масса, кг/м³	Исходные компоненты	Методы изготовления	Стоимость 1 м³, руб.
20. Мочевинофор-мальдегидный пено-пласт, заливочный марок: БТП-М1, БТП-М2, БТП-М3, БТП-М4	ВТУ, ЛенЗНИИЭП № 4-72 и № 5-72	10—40	Для БТП-М1и БТП-М2 карбамидные смолы МФ-17, М19-62, УКС, пенообразователь ПО-1, резорцин, синтетический латекс, соляная кислота или ортофосфат Для БТП-М3 — карбамидная смола М19-62, резорцин, синтетический латекс и АВО-1 Для БТП-М4 карбамидные смолы М19-62, УКС, типол, резорцин, синтетический латекс, ортофосфорная кислота	Пенопласт получают путем механического смешения карбамидной смолы и пенообразователя с последующим вспениванием, отверждением и сушкой готовой пены	До 10
21. Поливинил-хлоридный пенопласт марки ПВ-1	МРТУ 6-05-1158-68	50—80	Поливинилхлоридная композиция, содержащая вспенивающий агент	Пенопласт изготовляют по беспрессовой технологии путем вспенивания и полимеризации заготовок поливинилхлорида	100 (ориентировочно)
22. Поливинил-хлоридный пенопласт марки ПХВ-1	МРТУ 6-05-1179-69	70—130	Поливинилхлоридная композиция, содержащая вспенивающий агент — порофор ЧХЗ-57	Пенопласт изготовляют по прессовой технологии путем вспенивания полимерных заготовок	160—200
23. Сотопласт-бумажный	—	20—50	Крафт-бумага, мочевиноформальдегидная композиция МФ-17	Сотопласт изготовляют методом растяжения пакетов с пропиткой тонколистового материала полимерной композицией	45
24. Сотопласт бумажный	—	10—50	Кабельная бумага, мочевиноформальдегидная композиция МФ-17	Сотопласт изготовляют методом растяжения пакетов с пропиткой тонколистового материала полимерной композицией	45
25. Тканевый сотопласт	—	30—100	Хлопчатобумажная ткань (бязь), бутварно-фенольная композиция БФ-2	Сотопласт изготовляют по блочному методу путем склеивания профилированной ткани, пропитанной полимерной композицией	250

Примечание Возможно изготовление беспрессовых полистирольных пенопластов более высокой объемной массы по термоимпульсному методу.

ные технические характеристики пенопластов и сотопластов строительного назначения приведены в табл. 1.

1.8. Допускаемые отклонения в объемной массе плит и блоков, принятых для определения физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов, не превышают ±10% номинальной объемной массы партии материала.

1.9. Определение физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов производится на малых лабораторных образцах, изготовленных механической обработкой плит и блоков материалов.

1.10. При изготовлении образцов для проведения физико-механических испытаний необходимо учитывать характер распределения плотности материала по объему плит и блоков.

Образцы из пенопластов с анизотропной структурой и сотопластов изготовляются: в направлении вспенивания композиции или в направлении, параллельном склеенным сторонам сотовых ячеек; в направлении, перпендикулярном вспениванию композиции или к склеенным сторонам сотовых ячеек.

1.11. Физико-механические испытания производятся в соответствии с руководствами по физико-механическим испытаниям строительных пенопластов и сотопластов.

1.12. При использовании для механических испытаний образцов, форма и размеры которых отличаются от рекомендованных в унифицированных методах испытаний, необходимо учитывать влияние масштабного фактора, концентрации напряжений на прочностные и деформационные характеристики пенопластов и сотопластов.

1.13. Пособие включает следующие разделы физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов: структурные, теплофизические, влагосорбционные, прочностные и упругие, температурно-влажностные, механические с учетом фактора времени.

1.14. При определении физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов учитывались воздействия температурных, влажностных и временных факторов, характерных для эксплуатации материалов в строительных конструкциях.

1.15. Большинство приведенных в Пособии физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов получены при испытании образцов при нормальной (20° С), повышенной (до 80° С) и пониженной (до — 60° С) температурах.

Температура определения физико-механических характеристик и допуск на ее изменение принимаются в соответствии с ГОСТ 14359—69. Верхний предел температуры испытания ограничивается теплостойкостью материалов, определяемой по ГОСТ 16781—71.

1.16. Влагосорбционные и механические характеристики, описывающие поведение пенопластов и сотопластов в различных влажностных условиях, получены при испытании образцов в условиях стандартной атмосферы (ГОСТ 12423—66), в условиях повышенной влажности окружающей среды ($\varphi = 95 \div 98\%$) и в воде.

1.17. Среднее значение определяемой физико-механической характеристики вычисляется как среднее арифметическое результатов испытаний образцов. Результаты вычислений определяются до третьей значащей цифры. Возможность принятия в расчет среднего арифметического резко выделяющихся значений результатов испытаний устанавливается в соответствии с ГОСТ 14359—69. При определении средней величины физико-механических характеристик пенопластов и сотопластов с заданной достоверностью используются методы вариационной статистики (прил. I).

1.18. Нормативные и расчетные показатели различных видов пенопластов и сотопластов устанавливаются на основе полученных физико-механических и эксплуатационных характеристик этих материалов.

1.19. На основе анализа и обобщения данных по физико-механическим и эксплуатационным характеристикам различных партий пенопластов и сотопластов отечественного и зарубежного производства подготовлены технические требования на новые марки этих материалов для строительных конструкций различного назначения (прил. II).

2. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Пенопласты и сотопласты имеют макроячеистую структуру и состоят из полимерного вещества, в котором распределены ячейки, заполненные газом. Наличие макроячеистой структуры обусловливает специфические особенности физико-механических и эксплуатационных свойств этих материалов.

2.2. Для пенопластов характерна ячеистая структура, отличающаяся полидисперсностью. Характер ячеистой структуры пенопластов зависит от вида полимерной основы, особенности технологии изготовления и плотности материалов.

Для беспрессовых полистирольных пенопластов характерно сочетание надъячеистой и ячеистой структур. Надъячеистая структура представляет собой совокупность гранульных образований. Плотность распределения этих образований в пенопласте достаточно похожа на нормальное (рис. 1). Каждое гранульное образование является пористым телом, содержащим ячейки. Совокупность ячеек представляет собой ячеистую структуру. В структуре пенопластов между гранульными образованиями имеются разного рода структурные дефекты.

Структура фенолоформальдегидных и полиуретановых пенопластов представляет собой совокупность ячеек, образовавшихся в процессе вспенивания исходных композиций. Особенность структуры фенолоформальдегидных пенопластов заключается в том, что стенки ячеек содержат множество сквозных микродефектов. Структура полиуретановых пенопластов отличается высокой однородностью.

Для полистирольных и поливинилхлоридных пенопластов, вырабатываемых по прессовой технологии, характерно наличие единой ячеистой структуры. Размер ячеек может колебаться в широких пределах.

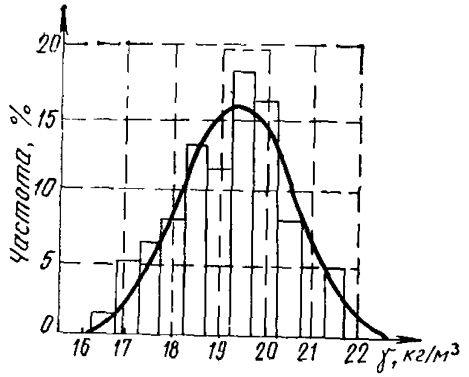


РИС. 1. ГИСТОГРАММА И ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ГРАНУЛ ПОДВСПЕНЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА БЕСПРЕССОВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА ПСБС

2.3. Для сотопластов характерна сотовая структура с регулярно повторяющимися полостями, пронизывающими массу материала в определенном направлении. Сотовая структура представляет собой совокупность пластин, обработанных полимерной композицией и склеенных между собой. Сотовая ячейка может иметь шестигранную, ромбическую, квадратную, синусоидальную форму. Для строительных сотопластов оптимальной является ячейка шестигранной формы.

2.4. Распределение полимера по поверхности ячеек структуры пенопластов неравномерно. В местах соприкосновения ячеек имеются утолщения, которые можно представить в виде стержневых элементов. Между ними просматриваются пленочные образования. Таким образом, ячейка может быть представлена в виде системы стержневых и пленочных образований. По форме ячейки приближаются к многогранникам, имеющим сферическую упаковку в структуре.

2.5. Качественная и количественная характеристика структуры пенопластов и сотопластов может быть выражена параметрами структуры. Интегральными параметрами структуры являются плотность и пористость. Дисперсность структуры определяется линейными размерами ячеек, их содержанием в единице объема материала, размером стержневых и пленочных образований.

2.6. Объемная масса пенопластов и сотопластов определяется плотностью полимерной основы, газовой фазы и пористостью структуры в виде $\gamma=\gamma_0(I-П)+\gamma_г П$. Под пористостью структуры понимается отношение объема газовых ячеек, имеющихся в структуре материала, к общему объему материала. Величина пористости структуры пенопластов строительного назначения составляет 80—98%. Экспериментальное определение объемной массы ведется путем геометрического измерения объема и массы материала.

2.7. Плотность пенопласта по высоте плит и блоков-заполнителей конструкций может колебаться. Диапазон этих колебаний зависит от принятой технологии и условий формования плит и блоков пенопласта В наибольшей степени изменение плотности по высоте плит и блоков проявляется у фенолоформальдегидных пенопластов (рис. 2).

2.8. Полистирольные, полиуретановые и поливинилхлоридные пенопласты имеют закрытоячеистую структуру. Некоторое содержание «открытых ячеек» в структуре этих пенопластов определяется наличием разного рода структурных дефектов. Для фенолоформальдегидных и карбамидных пенопластов свойствен открытоячеистый характер структуры, который обусловлен перфорированностью стержневых и пленочных образований. Содержание закрытых и открытых ячеек в структуре пенопластов дано в табл. 2.

Сотопласты имеют открытоячеистую структуру.

2.9. Объемная масса коррелирует с размером ячеек структуры материалов. С уменьшением объемной массы увеличение диаметра ячеек структуры происходит по гиперболическому закону (рис.3)

Для оценки плотности пенопластов по известным структурным характеристикам рекомендуется уравнение

$$\gamma=\frac{\pi\delta_{кр}\gamma_0}{d-d_{кр}},$$

где $\delta_{кр}$, $d_{кр}$ — критические параметры, определяющие устойчивое состояние ячеистой структуры. Значения критических параметров структуры различных марок пенопластов приведены в табл. 3.

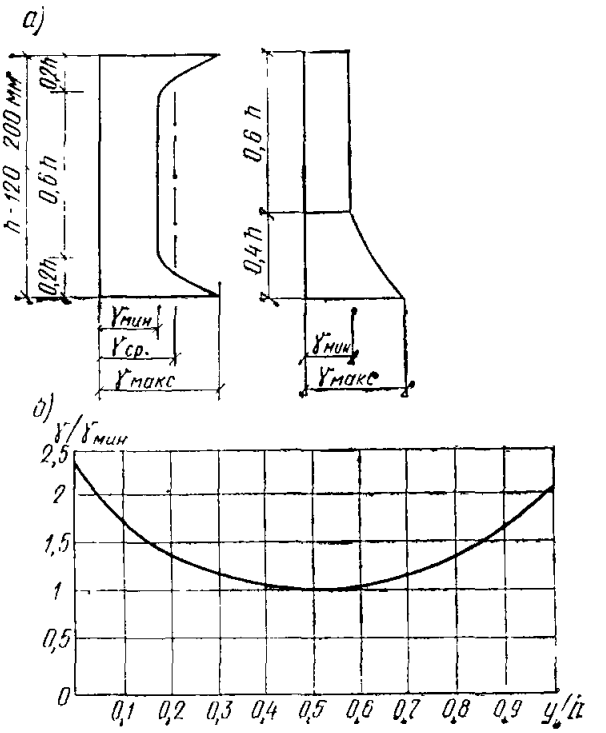


РИС. 2. ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО ПЕНОПЛАСТА ФЛ-1 (ФЛ-2, ФЛ-3) ПО ВЫСОТЕ ПЛИТ

а — вспенивание композиции в ограничительной металлической форме; *б* — свободное вспенивание композиции

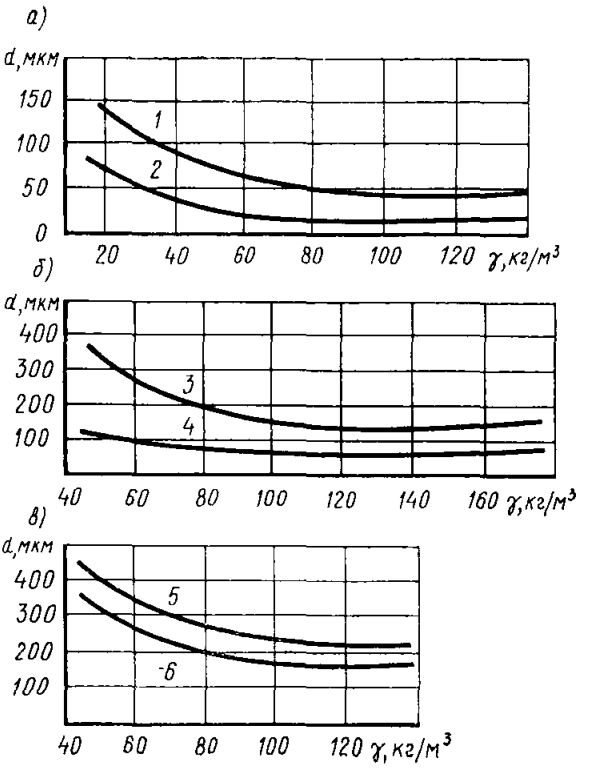


РИС. 3. ЗАВИСИМОСТЬ ДИАМЕТРА ЯЧЕЕК ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПЕНОПЛАСТОВ

а — полистирольные; *б* — фенолоформальдегидные; *в* — полиуретановые; *1* — пенопласт марки ПСБ; *2* — пенопласт марки ПСПС; *3* — пенопласт марки ФРП-1; *4* — пенопласт марки Вилапрес-5; *5* — пенопласт рецептуры ЗС; *6* — пенопласт рецептуры 308Н

Таблица 2

Марка пенопласта	γ, кгм³	V_1, %	V_2, %	V_3, %
ПСБС	50	90,1	5,1	4,8
ПСБ	20	95,8	2,8	1,4
ПС-1	87	88,5	2,2	9,3
ПС-4	34	93,8	3,1	3,1
ФРП-1	48	7,3	89,7	3
ФЛ-1	60—200	96,1—82,3	3,1—16,1	0,8—1,6
ФЛ-2	40—200	94,2—88,3	2,4—4,8	3,4—6,9
ФЛ-3	40—200	98,2—90	1—3,8	0,8—6,2
ППУ рецептуры ЗС	48	94,4	1	4,6
БТП-М	10	91,4	7,5	1,1

Таблица 3

Марка пенопласта	γ_0, кг/м³	Значения критических параметров ячеистых структур пенопластов, мк		
		$d_{кр}$ (минимальный)	$d_{кр}$ (максимальный)	$S_{кр}$
ПСБС	1050	10	140	0,4
ПСБ	1050	26	215	0,8
ФРП-1	1440	140	450	0,95
Виларес-5	1400	50	250	0,64
ППУ рецептуры ЗС	1200	150	370	1,05
ППУ рецептуры 308Н	1200	210	460	1,57

2.10. Определение объемной массы сотопластов исходя из известных структурных характеристик ведется по выражению

$$\gamma = \frac{6n\delta_{ср}}{b^2}(a + 0{,}58\delta_{ср})\gamma_0,$$

где b — длина стороны квадрата испытуемого образца в плоскости, перпендикулярной направлению сотовых ячеек; n — количество ячеек в испытуемом образце. Имея в виду, что $S = 1{,}73a$, это выражение можно записать в виде

$$\gamma = \frac{3{,}46n\delta_{ср}}{b^2}(S + \delta_{ср})\gamma_0.$$

2.11. Значения структурных характеристик пенопластов зависят от вида полимерной основы и технологии изготовления (табл. 4).

Таблица 4

Марка пенопласта	γ_0, кг/м³	γ, кг/м³	d, мк	$\delta_{ст}$, мк	$\delta_{пл}$, мк	Доля полимера в стержневых элементах ($K_{ст}$)
ПСБС	1050	60	30	8	1,75	0,3
ПСБ	1050	20	150	18	1,2	0,43
ПСБ	1050	50	90	15	2,1	0,33
ПСБ	1050	100	50	10	2,6	0,23
ПС-1	1050	100	250	50	19	0,17
ПС-4	1050	60	200	30	74	0,21
ФРП-1	1440	40	200	80	2,2	0,5
ФРП-1	1440	70	120	40	2,5	0,5
Виларес-5	1400	40	90	—	0,3	—
Виларес-5	1400	60	60	20	1,2	0,5
ФПБ	1400	50	175	—	0,7	—
ФПБ	1400	100	131	—	1	—
ППУ рецептуры ЗС	1200	80	200	60	0,8	0,9
ППУ рецептуры 308Н	1200	70	280	50	1,2	0,7
ПХВ-1	1340	100	300	36,3	14,5	0,1

Толщина стержневых и пленочных элементов ячеек структуры пенопластов рассчитывается по уравнениям

$$\delta_{ст} = 1{,}33l\sqrt{K_{ст}\frac{\gamma}{\gamma_0}} \quad \text{и}$$

$$\delta_{пл} = 0{,}74l\,(1 - K_{ст})\frac{\gamma}{\gamma_0},$$

где $K_{ст}$ — доля полимера в стержневых элементах (см. табл.4). Усредненная толщина стенок ячеек структуры пенопластов связана с размером ячеек следующей зависимостью:

$$\delta_{ср} = d\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \gamma/\gamma_0}} - 1\right).$$

Для сотопластов зависимости «размер стороны сотовой ячейки — объемная масса», «размер стороны сотовой ячейки — эффективная площадь ячейки» и «расстояние между параллельными сторонами сотовой ячейки — объемная масса» имеют гиперболический характер, а зависимость «расстояние между параллельными сторонами сотовой ячейки — размер стороны сотовой ячейки» — линейный характер (рис. 4).

2.12. Пенообразование композиций при изготовлении беспрессовых полистирольных пенопластов происходит как путем монотонного расширения ячеек структуры, так и посредством их агрегации (взаимного слияния). Характер пенообразования зависит от плотности изготовляемого пенопласта (табл. 5).

Таблица 5

γ, кг/м³	Усредненное количество ячеек, участвующих в агрегации	
	ПСБС	ПСБ
100—60	1,17	1,17
60—40	2,14	2,16
40—20	6,24	4

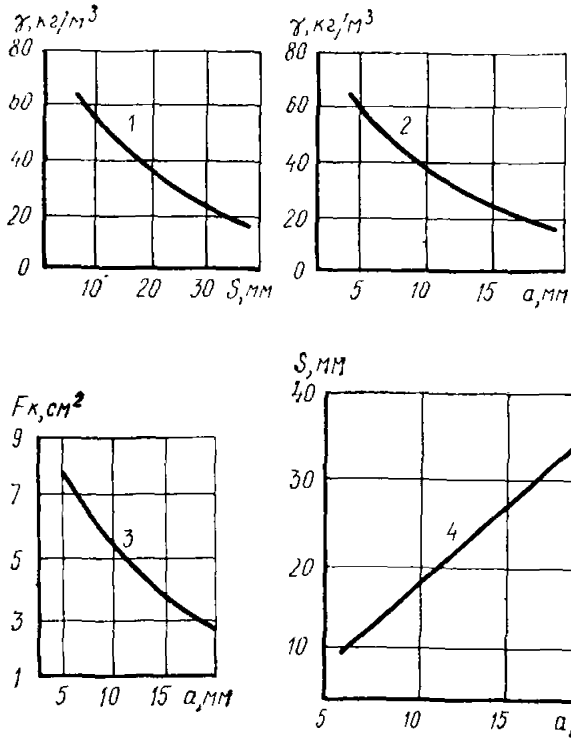


РИС. 4. ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ БУМАЖНОГО СОТОПЛАСТА

1 — зависимость объемной массы от расстояния между параллельными сторонами ячейки; *2* — зависимость объемной массы от размера стороны ячейки; *3* — зависимость эффективной площади ячейки от размера стороны ячейки; *4* — зависимость расстояния между параллельными сторонами ячейки от размера стороны ячейки

РИС 5. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ И ОБЪЕМНОЙ МАССОЙ БЕСПРЕССОВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА ПСБ

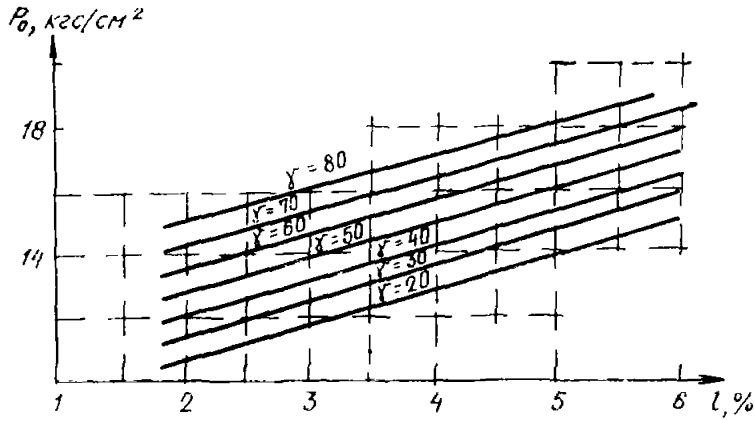


Таблица 6

Содержание вспенивающего агента, %	γ, кг/м³	P_0, кгс/см²
3—6	40—60	1,1—1,4
3—6	60—80	1,4—1,6
3—6	80—100	1,6—1,9

Величина избыточного давления, развиваемого композицией при формовании материала, зависит от объемной массы беспрессовых полистирольных пенопластов (табл. 6). Зависимости избыточного давления от содержания порообразователя и объемной массы этих материалов представлены на рис. 5.

2.13. Пенообразование фенолоформальдегидных и полиуретановых композиций происходит путем монотонного расширения ячеек структуры, при этом часть ячеек разрушается с образованием разного рода структурных макродефектов. Изменение размера ячеек в процессе вспенивания композиции пропорционально изменению плотности материала

$$\gamma_1 d_1^3 = \gamma_2 d_2^3 = \gamma_i d_i^3.$$

3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1. Конструкционные свойства пенопластов и сотопластов при повышенных температурах определяются их теплостойкостью. Теплостойкость этих материалов зависит от свойств полимерной основы и особенностей их макроструктуры.

3.2. Критерием теплостойкости пенопластов и сотопластов является формостабильность, характеризующаяся изменением размеров и формы образцов материалов при повышенных температурах.

3.3. При повышенных температурах происходит изменение формостабильности пенопластов и сотопластов. Развитие температурных деформаций материалов во времени носит экстремальный характер (рис. 6). При нагревании пенопластов, изготовленных путем вспенивания композиций легкокипящими жидкостями (например, фреонами), возможно необратимое увеличение размеров образцов за счет дополнительного вспенивания материалов.

В начальный период прогревания, вплоть до достижения температуры изотермического нагревания, развиваются деформации температурного расширения, характеризующиеся коэффициентом теплового линейного расширения.

При изотермическом прогревании в материалах проявляются усадочные деформации. Развитие усадочных деформаций во времени при постоянных и повторных температурных воздействиях носит затухающий характер (рис. 7). Их интенсивность зависит от температуры. При повышении температуры усадочные деформации возрастают по параболическому закону (рис. 8). Периодическое воздействие повышенных температур приводит к относительному снижению усадочных деформаций пенопластов и сотопластов.

При воздействии сжимающих механических напряжений температурные деформации усадки пенопластов возрастают, причем ин-

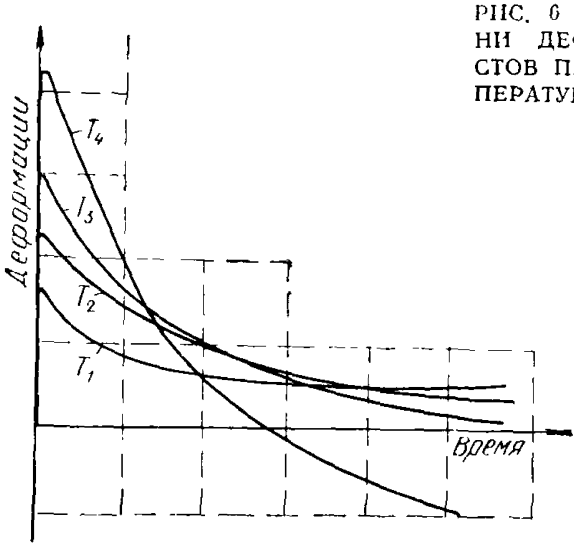
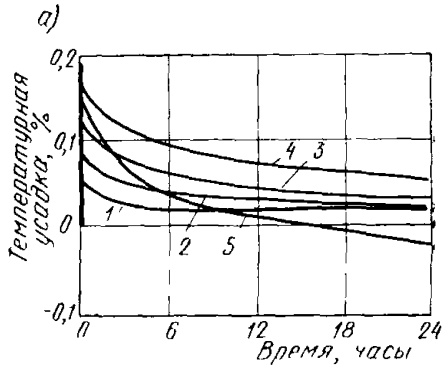


РИС. 6 РАЗВИТИЕ ВО ВРЕМЕНИ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ $T_1<T_2<T_3<T_4$ (СХЕМА)



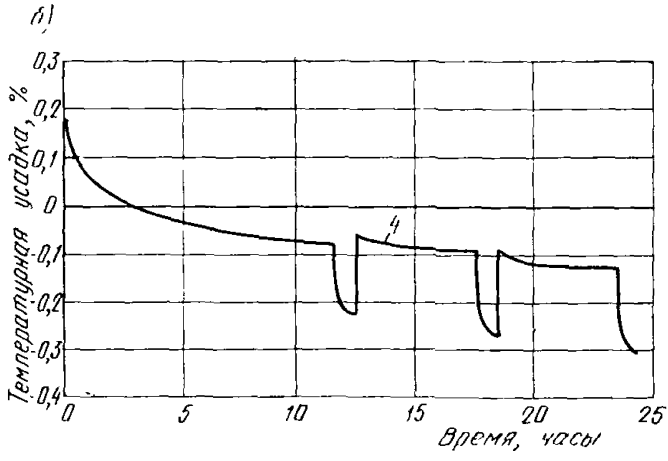


РИС. 7. ДЕФОРМАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ УСАДКИ БЕСПРЕССОВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА ПСБС (γ=40 кг/м³)

а — при постоянном температурном воздействии; *б* — при повторном температурном воздействии; *1* — при температуре 30° С; *2* — при температуре 40° С; *3* — при температуре 50° С; *4* — при температуре 60° С, *5* — при температуре 70° С

Таблица 7

Марка пенопласта	γ, кг/м³	$T_р$, °С	λ, ккал/м·ч град	α, 1/град.×$\times 10^{-6}$	C, ккал/кг×град
ПСБС	25—60	70	0,024—0,033	55—65	0,35—0,4
ПСБ	20—60	70	0,024—0,033	56—68	0,35—0,39
ПСБ-МП	80—160	70	0,039—0,045	—	—
ПС-1	100	65	0,028—0,045	52—71	—
ПС-4	40—60	70	0,025—0,038	67—84	—
ФРП-4	60—80	130	0,035—0,045	38	0,35—0,56
Виларес-5	60—80	130	0,035—0,04	—	—
ФЛ-1	60—200	150	0,035—0,055	20—40	0,38
ФЛ-2	40—200	180	0,035—0,06	20—40	0,38
ФЛ-3	40—200	160	0,03—0,05	20—40	0,38
ФПБ-60	60—80	130	0,053—0,06	—	—
ЗСП-1	50—80	115	0,025—0,035	—	0,33
ПСФ-ВНИИСТ	70—120	100	0,038—0,042	20—23	—
ППБ	90—180	130	0,04—0,045	25—30	0,24
ППУ рецептуры ЗС	50—70	90	0,027—0,032	25—30	0,3
ППУ рецептуры 308Н	40—60	120	0,027—0,03	20—25	—
МФП	10—30	100	0,026—0,028	—	—
БТП-М	10—40	100	0,025—0,035	48—80	0,32
ПВ-1	50—80	75	0,03—0,035	40—44	—
ПХВ-1	70—130	60	0,026—0,037	44—49	0,36—0,38
Сотопласт бумажный	10—50	95	0,042—0,057*; 0,083—0,09**; 0,035*—0,06***	—	—

* Значение λ при направлении теплового потока перпендикулярно стороне сотовой ячейки.

** То же, вдоль полости сотовой ячейки.

*** То же, вдоль полости сотовой ячейки, заполненной карбамидным или фенолоформальдегидным пенопластом

РИС. 8. ЛИНЕЙНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ УСАДКА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕНОПЛАСТОВ (ЗА 24 ч)

1 — пенопласт марки ПХВ-1 (γ=100 кг/м³); *2* — пенопласт марки ПВ-1 (γ=60 кг/м³); *3* — пенопласт марки ПСБ (γ=50 кг/м³); *4* — пенопласт марки ППУ рецептуры ЗС (γ=100 кг/м³); *5* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=50 кг/м³); *6* — пенопласт марки ФЛ-1 (γ=150 кг/м³)

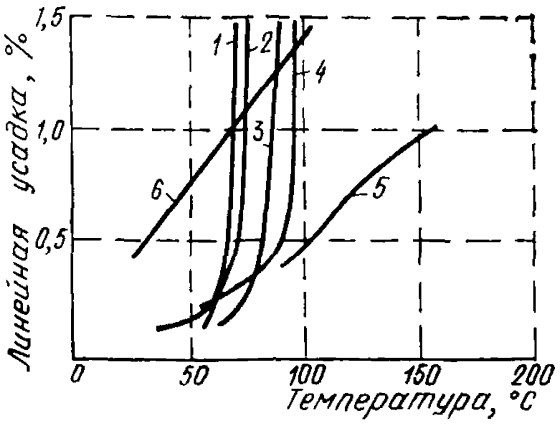


Таблица 8

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Значения $\alpha \cdot 10^{-6}$ при температурах, °С				
		30	40	50	60	70
ПСБ	30	55,2	55	49,2	41,4	33,5
ПС-1	100	50,5	48,8	45,3	46,5	44,5
ПС-4	40	61,8	61,5	61	59,5	56,3
БТП-М	20	71	43	—	—	—
ПВ-1	60	38,6	37,6	35,8	32	27
ПХВ-1	100	46,2	43,9	40,6	33,1	—

тенсивность остаточных деформаций зависит от величины приложенной нагрузки и температуры (рис. 9, 10).

3.4. Величины коэффициента теплового линейного расширения пенопластов и сотопластов приведены в табл. 7.

Экстремальный характер развития температурных деформаций пенопластов и сотопластов обусловливает зависимость коэффициента теплового линейного расширения от величины температурного воздействия. С повышением температуры происходит снижение величины этого коэффициента (табл. 8). Повторное прогревание — охлаждение образцов практически не сказывается на изменении коэффициента теплового линейного расширения пенопластов.

3.5. За характеристику теплостойкости пенопластов и сотопластов принимается величина температуры, при которой изменения линейных размеров образцов материалов составляют 1%. Эта величина температуры несколько ниже температуры стеклования или разложения полимерной основы материалов.

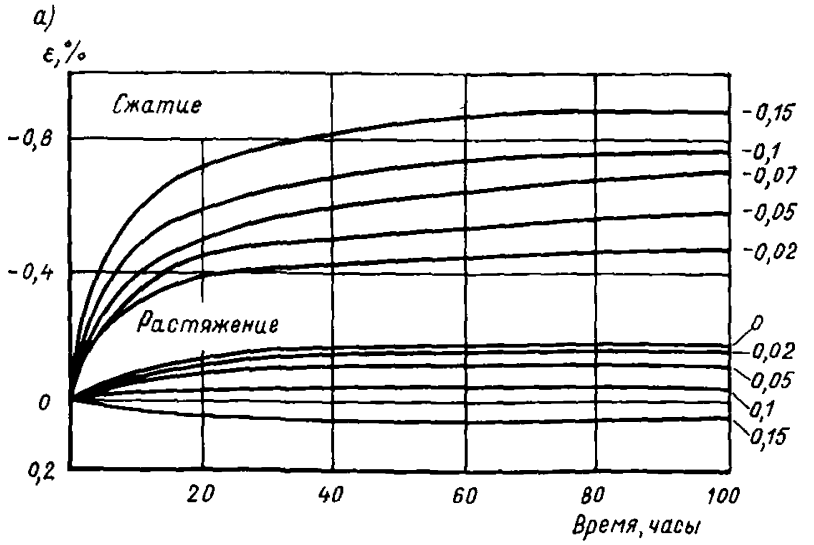
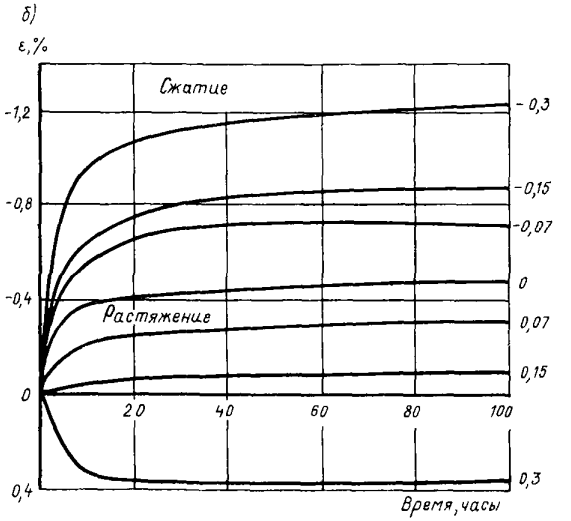
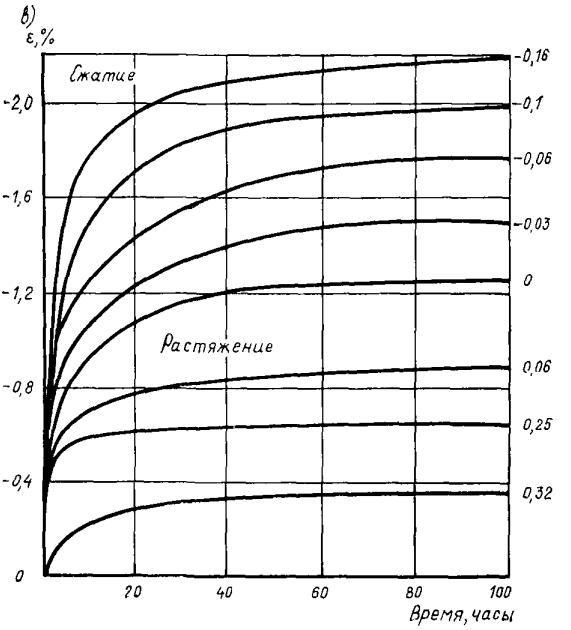


РИС. 9. РАЗВИТИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЖИМАЮЩИХ И РАСТЯГИВАЮЩИХ НАГРУЗОК И ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

а — пенопласт марки ПСБС (γ=30 кг/м³) при температуре 60° С; *б* — пенопласт марки ПСБ-МП (γ=145 кг/м³) при температуре 80° С; *в* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=45 кг/м³) при температуре 80° С


б)
ε, %
Сжатие
Растяжение
-1,2
-0,8
-0,4
0
0,4
20
40
60
80
100
Время, часы
-0,3
-0,15
-0,07
0
0,07
0,15
0,3


в)
ε, %
Сжатие
Растяжение
-2,0
-1,6
-1,2
-0,8
-0,4
0
20
40
60
80
100
Время, часы
-0,16
-0,1
-0,06
-0,03
0
0,06
0,25
0,32

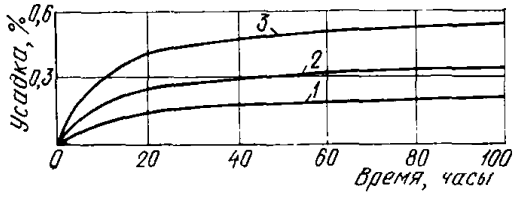


РИС. 10 РАЗВИТИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕСПРЕССОВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА ПСБС (γ=30 кг/м³) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ (σ =0,05 кгс/см²) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

1 — 20° С; *2* — 40° С; *3* — 60° С

Технической характеристикой теплостойкости является показатель рабочей температуры, при которой материал продолжает еще сохранять свои эксплуатационные качества и усадочные деформации не превышают 1% (см. табл. 7).

3.6. При оценке теплостойкости пенопластов и сотопластов на термореактивной основе существенную роль играет их химическая устойчивость. В условиях повышенных температур в полимерной основе этих материалов могут развиваться процессы термоокислительной деструкции, в результате чего в окружающую среду выделяются вредные вещества.

Химическая устойчивость пенопластов и сотопластов определяется количеством выделенных веществ, изменением веса образцов, изменением цвета и др.

3.7. Пенопласты обладают высокими теплоизоляционными свойствами, которые зависят от вида полимерной композиции, различных добавок и наполнителей, типа газообразователя или вспенивающего агента и дисперсности ячеистой структуры. Теплоизоляционные свойства характеризуются главным образом коэффициентом теплопроводности.

В связи с наличием ячеистой структуры передача тепла в материале обусловливается как теплопроводностью полимерных пленок, так и теплопроводностью, конвекцией газообразной фазы и излучением между стенками ячеек. Применительно к пенопластам под коэффициентом теплопроводности понимается усредненный показатель, учитывающий все отмеченные виды теплопередачи.

3.8. Коэффициент теплопроводности зависит от объемной массы пенопластов. При использовании пенопластов в качестве теплоизоляционных материалов целесообразно применять материалы с низкой объемной массой. Однако следует иметь в виду, что для пенопластов существует оптимальная плотность, выше и ниже которой

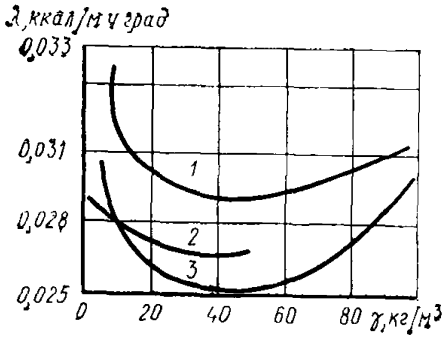


РИС. 11. ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — полистирольный; *2* — карбамидный; *3* — феноло формальдегидный

РИС. 12. ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПЕНОПЛАСТА ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

1 — плита пенопластов с уплотненными внешними корками при температуре 80° С; *2* — плита пенопласта без уплотненных корок при температуре 80° С; *3* — то же, при температуре 50° С; *4* — то же, при температуре 20° С

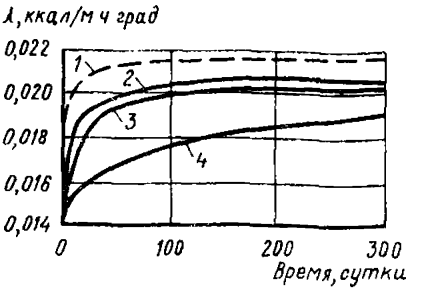


Таблица 9

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Значения λ при температурах, °С				
		—60	0	20	60	100
ПСБ	80	63	93	100	—	—
Полистирольный	20	—	87,5	100	—	—
ФРП-1	40	54	83	100	111	125
ФЛ-1	60	—	97,5	100	—	—
Фенольный	40	67	93	100	126	152
Мочевино-формальдегидный	70	—	92	100	117	137,5
	10	—	—	100	135	—
ПХВ-1	70	—	—	100	136	—

Примечание. Значение коэффициента теплопроводности пенопластов, определенное при температуре 20° С, принято за 100%.

увеличивается значение коэффициента теплопроводности (рис. 11).

3.9. В процессе эксплуатации пенопластов может происходить повышение коэффициента теплопроводности вследствие удаления вспенивающих агентов (рис. 12).

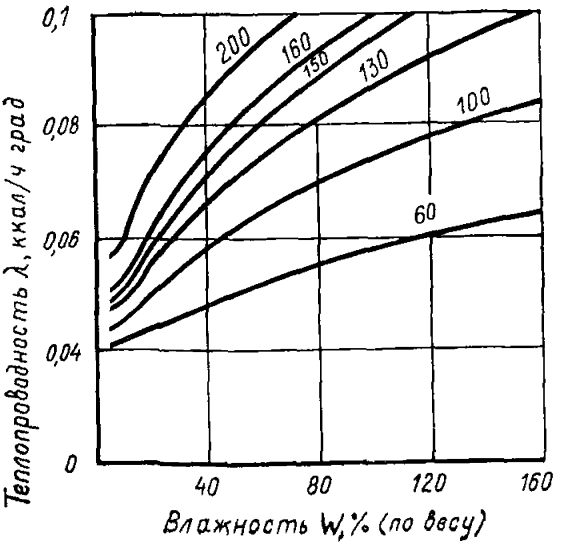


РИС. 13 ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО ПЕНОПЛАСТА ФЛ-1 РАЗЛИЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ (кг/м³)

3.10. При повышении температуры происходит увеличение коэффициента теплопроводности пенопластов (табл. 9).

По сравнению с термопластичными пенопластами теплопроводность пенопластов на основе реактопластов меньше зависит от температуры.

3.11. При пониженных температурах имеет место некоторое снижение коэффициентов теплопроводности пенопластов, которое объясняется снижением теплопроводности газа в ячейках структуры, а также созданием в них разряжения, затрудняющего теплопередачу (см табл. 9).

3.12. На теплоизоляционные свойства пенопластов отрицательно влияет увлажнение. Оценка изменения коэффициента теплопроводности при увлажнении полистирольных пенопластов в водной среде проводится по уравнению

$$\lambda_W = \lambda + \frac{nW}{100},$$

где n — эмпирический коэффициент для беспрессовых полистирольных пенопластов, равный 6.

Характер изменения коэффициента теплопроводности при увлажнении пенопластов зависит от их объемной массы (рис. 13).

4. ВЛАГОСОРБЦИОННЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. Влагосорбционные характеристики пенопластов определяются характером ячеистой структуры. Пенопласты с закрытоячеистой структурой имеют низкую влагоемкость. В пенопластах с открытой ячеистой структурой влага проникает в объем материала, заполняет ячейки, поэтому эти пенопласты склонны к повышенному влаго- и водопоглощению. На влагосорбционные свойства пенопластов существенное влияние могут оказывать также несовершенства технологических операций изготовления этих материалов.

Влагосорбционные характеристики сотопластов определяются водостойкостью бумажной и тканевой основ и эффективностью применяемых пропиточных композиций.

4.2. Размер ячеек структуры оказывает влияние на влагосорбционные характеристики пенопластов. Как правило, пенопласты с крупноячеистой структурой имеют повышенное влаго- и водопоглощение.

4.3. Характеристики влаго- и водопоглощения при кратковременном увлажнении пенопластов приведены в табл. 10.

Интенсивность влаго- и водопоглощения пенопластов зависит от характера структуры. В случае закрытоячеистой структуры наиболее интенсивно водопоглощение в первые 5—10 сут увлажнения, а затем меняется незначительно. Пенопласты с преобладающей открытоячеистой структурой сохраняют повышенное водопоглощение при продолжительном увлажнении (рис. 14).

Водопоглощение бумажных сотопластов, обработанных карбамидными и фенолоформальдегидными композициями, составляет 3 и 1,5% соответственно.

4.4. Влаго- и водопоглощение пенопластов возрастает в условиях повышенных давлений, приложения механических напряжений, вибрации.

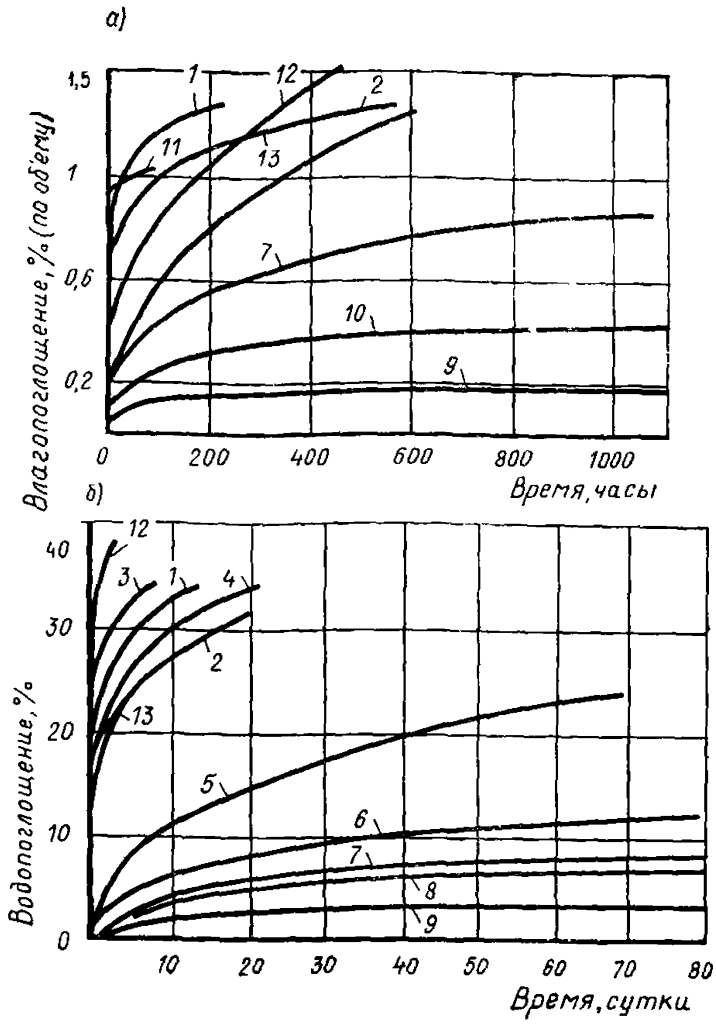


РИС. 14. ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЕ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПЕНОПЛАСТОВ

а — влагопоглощение; *б* — водопоглощение; *1* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=40 кг/м³); *2* — пенопласт марки Виларес-5 (γ=60 кг/м³); *3, 4* — фенолоформальдегидные пенопласты (γ=70 кг/м³); *5* — пенопласт марки ПСБ (γ=20 кг/м³); *6* — пенопласт марки ПХВ-1 (γ=100 кг/м³); *7* — пенопласт марки ПС-4 (γ=40 кг/м³); *8* — пенопласт ПВ-1 (γ=60 кг/м³); *9* — пенопласт ПС-1 (γ=100 кг/м³); *10* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=50 кг/м³); *11* — пенопласт марки БТП-М (γ=10 кг/м³); *12* — пенопласт марки ФЛ-1 (γ=40 кг/м³); *13* — пенопласт марки ФЛ-2 (γ=40 кг/м³)

РИС. 15. ЗАВИСИМОСТЬ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — пенопласт марки ПСБ;
2 — пенопласт марки ПС-1;
3 — пенопласт марки ПХВ-1;
4 — фенолоформальдегидный пенопласт

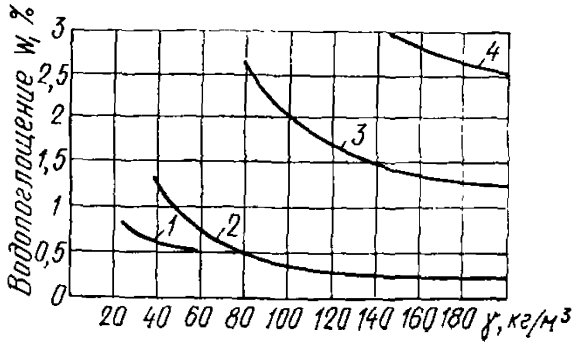


Таблица 10

Марка пенопласта	γ, кг/м³	φ, % (по объему) при влажности воздуха (%)		W за 24 ч, % (по объему)
		55—65	90—95	
ПСБС	25—60	0,02—0,05	0,2—0,7	0,5—3
ПСБ	20—60	0,02—0,07	0,2—0,5	0,5—3
ПСБ-МП	80—160	—	0,5—0,7	9,6
ПС-1	100	0,06	0,1—0,2	0,4—0,6
ПС-4	40—60	0,04	0,2—0,6	1—1,5
ФРП-1	60—80	0,1—0,3	0,8—2	10—30
Виларес-5	60—80	0,1—0,2	0,5—1,5	5—25
ФЛ-1	60—200	0,3	4	40
ФЛ-2	40—200	0,1	2	25
ФЛ-3	40—200	0,25	4	40
ФПБ	60—80	—	—	—
ЗСП-1	50—80	0,05—0,08	0,3—0,5	2—5
ПСФ-ВНИИСТ	70—120	—	0,1—0,2	0,2—0,4
ППБ	90—180	0,2—0,3	0,5—0,6	2,6—4,5
ППУ рецептуры ЗС	50—70	0,1—0,03	0,1—0,2	3,8—4,4
ППУ рецептуры 308Н	40—60	0,01—0,03	0,1—0,2	3,1—4,1
ППУ-308-М-9	61	—	0,11	4,5
ППУ-316-1	60	—	0,08	6,6
«Изолан»	60	—	0,06	7,2
МФП	10—30	0,1—0,2	—	40—60
БТП-5	10—40	0,09—0,2	0,9—1,1	40—60
ПВ-1	40—70	0,02	0,2—0,5	1,5—2,5
ПХВ-1	70—130	0,05	0,3—0,6	2—2,5

4.5. С повышением объемной массы влаго- и водопоглощение пенопластов снижается. Это снижение происходит по гиперболическому закону (рис. 15).

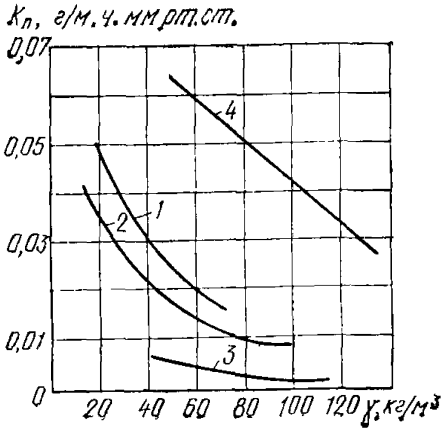
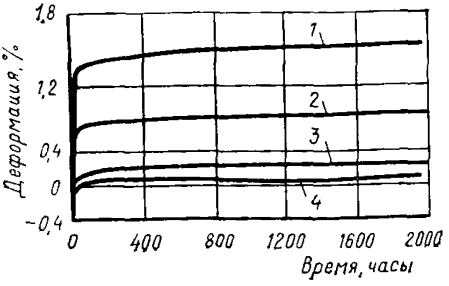


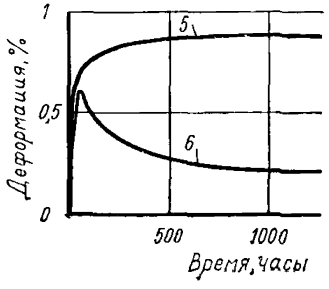
РИС. 16. ЗАВИСИМОСТЬ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПЕНОПЛАСТОВ

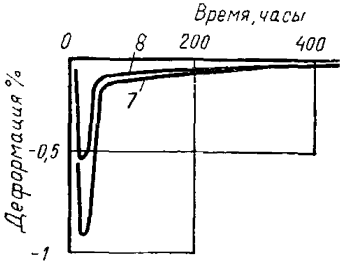
1 — полиуретановый пенопласт;
2 — полистирольный пенопласт;
3 — пенопласт марки ПХВ-1;
4 — пенопласт марки ФРП-1

РИС. 17. ЗАВИСИМОСТЬ ВЛАЖНОСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕРЖИВАНИЯ ПЕНОПЛАСТОВ В ВОДЕ

1 — пенопласты марки ФРП-1 (γ=80 кг/м³); *2* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=100 кг/м³); *3* — пенопласт марки ПВ-1 (γ=60 кг/м³); *4* — пенопласт марки ПХВ-1 (γ=100 кг/м³); *5* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=100 кг/м³); *6* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=50 кг/м³); *7* — пенопласт марки ПСБ (γ=73 кг/м³); *8* — пенопласт марки ПСБ (γ=18 кг/м³)







4.6. С увеличением температуры водной среды происходит повышение влаго- и водопоглощения пенопластов.

4.7. Режим увлажнения влияет на влаго- и водопоглощение пенопластов. Периодическое увлажнение (увлажнение — высушивание) приводит к постепенному повышению водопоглощения образцов.

При периодическом увлажнении в пенопласте могут развиваться процессы, приводящие к разрушению ячеистой структуры.

4.8. Характеристики паропроницаемости пенопластов при температуре 20—30° С приведены в табл. 11. Характер зависимости паропроницаемости от объемной массы пенопластов показан на рис. 16.

4.9. Увлажнение влияет на формостабильность пенопластов и сотопластов В процессе увлажнения происходит деформирование образцов. Характер этого деформирования зависит от вида полимерной основы, объемной массы материала и степени увлажнения (рис. 17). Величины максимальных деформаций пенопластов при увлажнении при нормальной температуре в течение 1000 ч приведены в табл. 12.

Величины деформаций пенопластов в водной среде зависят от направления вспенивания композиций: образцы, вырезанные в направлении вспенивания, проявляют более высокую деформативность, чем образцы, вырезанные в перпендикулярном направлении.

4.10. Повышение температуры воды по-разному отражается на характере деформативности пенопластов. При повышении температуры воды деформативность фенолоформальдегидных и поливинилхлоридных пенопластов возрастает.

Таблица 11

Марка пенопласта	γ, кг/м³	$K_П$, г/м ч·мм рт.ст
Полистирольные ПСБС, ПСБ	20—60	0,01
ПС-1, ПС-4	40—100	0,002
Фенолоформальдегидные	40—200	0,2—0,6
Полиуретановые	40—70	0,01—0,06
Карбамидные	10—40	0,15—0,9
Поливинилхлоридные ПВ-1, ПХВ-1	50—100	0,001
Перлитопласты	90—180	0,0007

Таблица 12

Марка пенопласта	γ, кг/м³	ε_w, %
ПСБ	60	0
ПСБ-МП	145	0,3
ФРП-1	45	1,9
Виларес-5	50	1,6
ППУ рецептуры ЗС	100	0,85
ППУ 308Н	35	0,6
ПВ-1	60	0,25
ПХВ-1	80	0,08

4.11. Деформативность пенопластов в воде зависит от их водопоглощения. Начальное водопоглощение, как правило, вызывает наибольшее деформирование пенопластов. При продолжительном увлажнении эта зависимость близка к линейной.

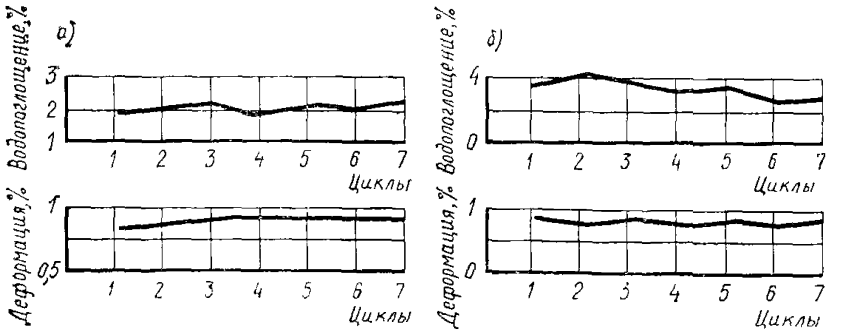


РИС. 18. ИЗМЕНЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И ВЛАЖНОСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПЕНОПЛАСТА ППУ РЕЦЕПТУРЫ ЗС (γ=100 кг/м³) В ПРОЦЕССЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ — ВЫСУШИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ

а — испытание предварительно высушенных образцов; *б* — испытание предварительно увлажненных образцов

Таблица 13

Среда	Пенопласты				
	полистирольные	феноло-формальдегидные	полиуретановые	карбамидные	поливинилхлоридные
Разбавленные и умеренные кислоты:					
серная	+	+	+	0	+
соляная	+	+	+	0	+
фосфорная	+	+	+	+	+
азотная	0	+	+	—	+
муравьиная	+	0	0	0	+
уксусная	+	+	+	0	+
Щелочь	+	—	+	—	+
Аммиачная вода	+	—	+	0	+
Сода	+	—	+	0	+
Спирты	0	0	+	+	+
Ацетон	—	0	0	+	—
Кетоны	0	0	0	+	—
Эфиры	—	0	0	+	—
Этилацетат	—	—	0	+	—
Толуол	—	—	+	0	—
Четыреххлористый углерод	—	—	0	0	+
Бензин	—	+	+	+	+
Нефть	—	—	+	0	0
Растительные и животные масла	+	—	+	0	+

Примечание. Знак «+» означает, что пенопласты стойкие; «—» — разрушаются; «0» — слабо стойкие Для сравнения в табл. 13 приведены качественные характеристики химической стойкости полиэпоксидных пенопластов.

4.12. При периодическом увлажнении — высушивании пенопластов происходит постепенное нарастание максимальных деформаций образцов и «остаточных» деформаций, измеренных после высушивания (рис. 18).

4.13. Как и монолитные полимерные материалы, пенопласты обладают высокой химической стойкостью. Химические реагенты действуют на пенопласты так же, как и на монолитные полимеры. Однако при оценке их химической стойкости необходмио учитывать более развитую удельную поверхность, которая способствует более интенсивному воздействию на пенопласты агрессивных сред. Качественная характеристика химической стойкости пенопластов в наиболее распространенных химических средах представлена в табл. 13.

Наличие на поверхности плит и блоков пенопластов уплотненной пленки (корки) снижает поглощение агрессивных жидкостей, повышая тем самым устойчивость материала.

Химическая стойкость сотопластов определяется инертностью бумажной, тканевой основ и использованных пропиточных композиций.

4.14. Необходимо учитывать корродирующее действие некоторых пенопластов на другие материалы (главным образом на металлы) Корродирующее действие усиливается при увлажнении пенопластов, а также при повышенных температурах.

5. ПРОЧНОСТНЫЕ И УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

5.1. Наличие макроструктуры вносит существенные изменения в механическое поведение пенопластов и сотопластов, в процессы их деформирования и разрушения под нагрузкой.

5.2. Процессы деформирования и разрушения пенопластов и сотопластов определяются свойствами полимерной основы, особенностями макроструктуры, развитием и образованием в ней разного рода дефектов.

5.3. Процессы монотонного статического разрушения пенопластов и сотопластов сопровождаются прогрессирующим накоплением повреждений в макрообъемах материалов в связи с дисперсией прочности структурных элементов. Разрушение материалов происходит за счет развития и накопления дефектов на макроструктурном уровне путем образования и распространения «трещин».

5.4. Специфические особенности деформирования и разрушения пенопластов проявляются в нелинейности диаграмм «напряжение — деформация». Рассмотрение сопротивляемости пенопластов и сотопластов при действии монотонно возрастающей нагрузки ведется на основе закономерностей развития деформаций полимеров, базирующихся на представлениях о наличии составляющих компонентов деформаций (упругой, эластической и остаточной).

5.5. Для пенопластов и сотопластов характерны вязкая упругость и замедленное деформирование во времени. Поэтому рассмотрение разрушения этих материалов ведется путем анализа их деформативности под нагрузкой. Повышенная деформативность этих

Таблица 14

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Значения величин напряжений и деформаций (%) при различных видах напряженного состояния пенопластов					
		растяжение		сжатие		сдвиг	
		напряжение	деформация	напряжение	деформация	напряжение	деформация
ПСБС	20	71	80	75	52	82	51
ПСБ	20	77	61	81	50	77	53
ПС-1	100	79	45	82	54	87	43
ПС-4	60	71	26	78	54	83	55
ФРП-1	60—80	100	100	81	30	95	95
Виларес-5	60	100	100	89	32	84	47
ППУ-3С	60	78	46	75	60	85	50
ППУ-308Н	70	75	51	83	44	79	45
ПХВ-1	100	60	34	85	44	82	52

Примечание. Разрушающие напряжения и предельные значения деформаций на диаграммах «напряжение — деформация» приняты за 100%.

материалов определяется подвижностью структурных элементов, их разрушением.

5.6. Деформативность пенопластов и сотопластов в условиях кратковременно приложенной нагрузки зависит от вида напряженного состояния материалов. В наибольшей степени она проявляется при действии сжимающих и сдвигающих напряжений

5.7. Механическая характеристика пенопластов и сотопластов — предел прочности имеет вполне определенное значение при действии растягивающих напряжений. При испытании материалов на сжатие и сдвиг в большинстве случаев отсутствуют хрупкое разрушение и четко выраженный предел прочности. Поэтому эти характеристики зачастую определяются условно, исходя из величины заданной деформативности материалов

5.8. Нелинейность диаграмм растяжения проявляется уже в области малых деформаций, причем кривизна диаграмм возрастает с повышением растягивающих напряжений (рис. 19). Величины напряжений и деформаций, соответствующие существенному отклонению от линейности диаграмм деформирования пенопластов, приведены в табл. 14. Характерные значения напряжений и деформаций выражены в процентах относительно временной прочности (σ_p, σ_c, τ) или предельной деформативности (ε_p) материалов.

5.9. Расчет диаграмм растяжения пенопластов рекомендуется проводить по уравнению

$$\sigma_i = \gamma E_p \varepsilon_i \left(1 - \frac{\varepsilon_i}{2\varepsilon_p}\right) \frac{\gamma}{\gamma_o},$$

где γ — коэффициент, характеризующий конфигурацию ячеистой структуры. В табл. 15 приведены значения параметров для построения диаграммы растяжения беспрессовых полистирольных пенопластов.

Таблица 15

Марка пенопласта	γ_o, кг/м³	γ, кг/м³	ε_p, %	$\varkappa$
ПСБС, ПСБ	1050	20—60	1,5	0,33

5.10 При сжимающих напряжениях макроструктура пенопластов допускает возможность развития больших деформаций без потери материалом несущей способности. В общем случае диаграмма сжатия характеризуется наличием квазиупругой и пластической областей (рис. 20). Соотношение этих областей определяется жесткостью полимерной основы и структурными характеристиками материалов Определение областей производится по характерным точкам диаграмм (A, B и C) «напряжение — деформация» пенопластов.

5.11. Расчет диаграмм сжатия полистирольных и поливинилхлоридных пенопластов рекомендуется проводить по уравнениям:

в квазиупругой области

$$\sigma_{C_i} = 0{,}6E_o \varepsilon_i (0{,}25 - \varepsilon_1)\left(0{,}25 - \frac{1}{2}\varepsilon_1\right)\frac{\gamma}{\gamma_o} + \frac{P_o \varepsilon (2-\varepsilon)}{1 - 3/2\varepsilon^2};$$

в «пластической» области

$$\sigma_{C_i} = 0,029E_0 \frac{\left[E\left(\frac{\pi}{2}\right)\right]^2}{(2-\varepsilon_2)} \frac{\gamma}{\gamma_0} + \frac{P_0 \varepsilon (2-\varepsilon_3)}{1-3/2\varepsilon_3^2},$$

где ε_1, ε_2, ε_3 — деформации материала при действии возрастающей сжимающей нагрузки.

5.12. Нелинейность диаграмм сдвига пенопластов и сотопластов определяется жесткостью полимерной основы. При использовании полимерных композиций повышенной хрупкости потеря несущей способности материалов сопровождается явным разрушением образцов (рис. 21).

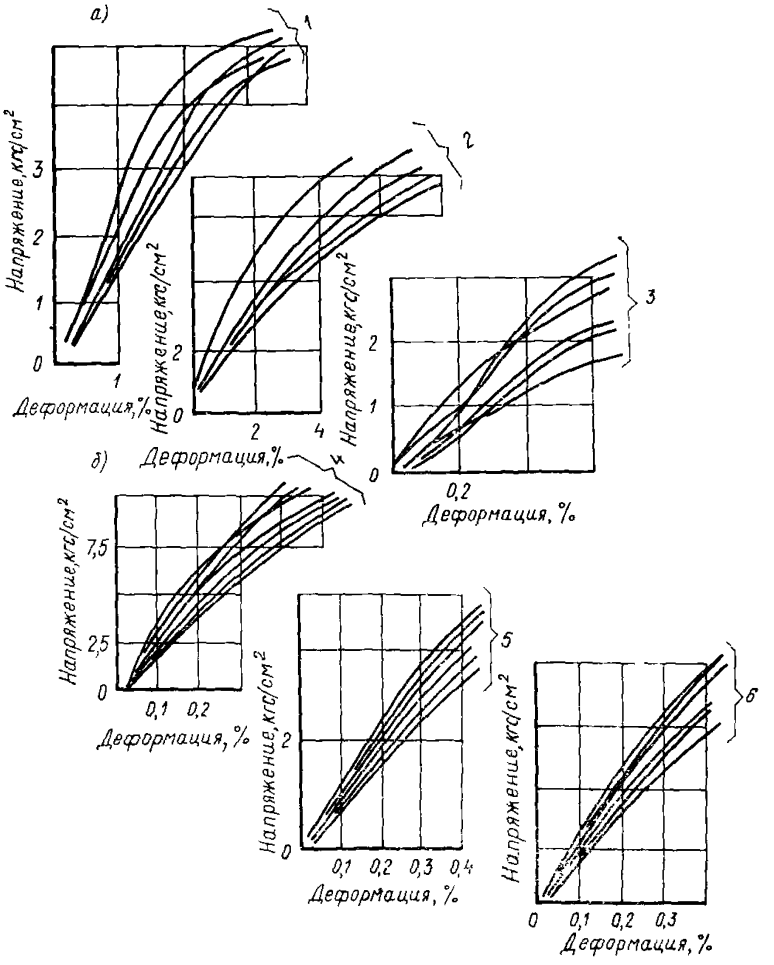


РИС. 19. ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ

а — пенопласты; *б* — сотопласты на основе крафт-бумаги; *1* — пенопласты ППУ рецептуры ЗС (γ=65 кг/м³); *2* — пенопласт рецептуры № 308Н (γ=65 кг/м³); *3* — пенопласт марки ПСБ (γ=36 кг/м³); *4* — сотопласт со стороной ячейки 7 мм; *5* — то же, 12 мм; *6* — то же, 18 мм

РИС. 20 ДИАГРАММА СЖАТИЯ ПЕНОПЛАСТОВ (СХЕМА)

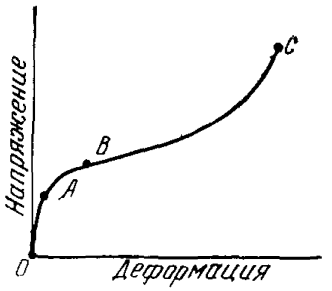
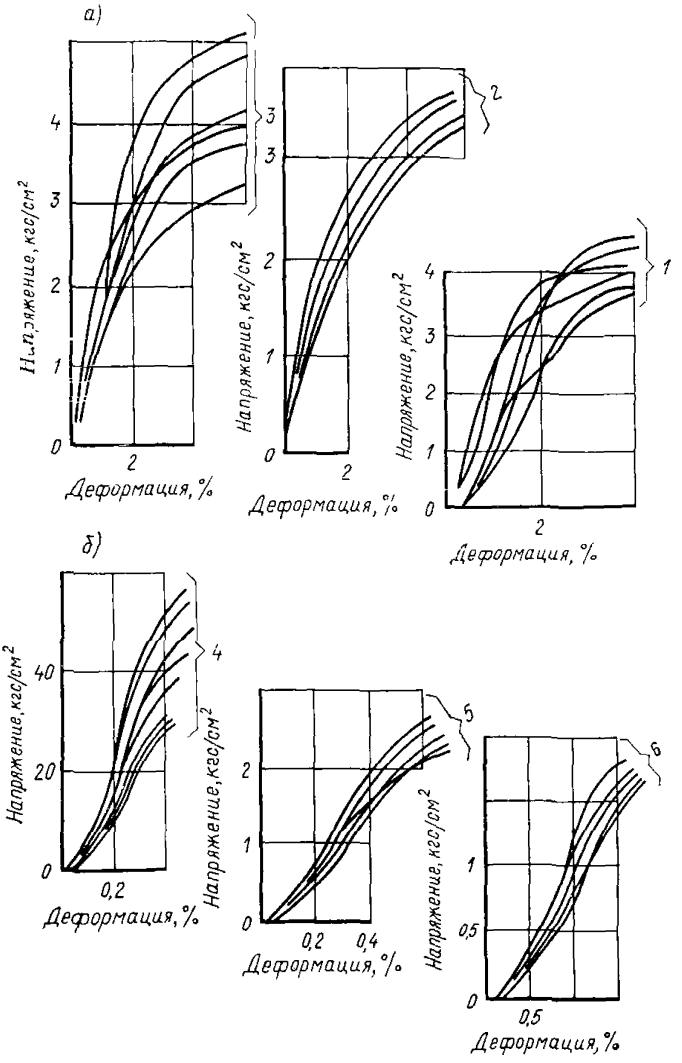


РИС. 21. ДИАГРАММЫ СЖАТИЯ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ

а — пенопласты; *б* — сотопласты на основе крафт-бумаги; *1* — пенопласты марки ПСБ (γ=60 кг/м³); *2* — пенопласт марки Виларес-5 (γ=60 кг/м³); *3* — пенопласт ППУ рецептуры 308Н (γ=65 кг/м³); *4* — сотопласт со стороной ячейки 7 мм; *5* — то же, 12 мм; *6* — то же, 18 мм



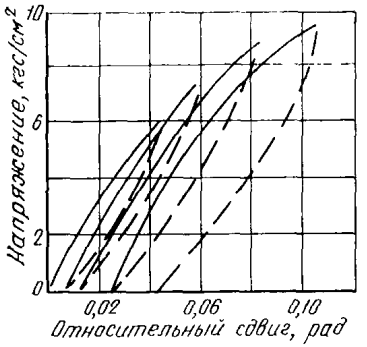
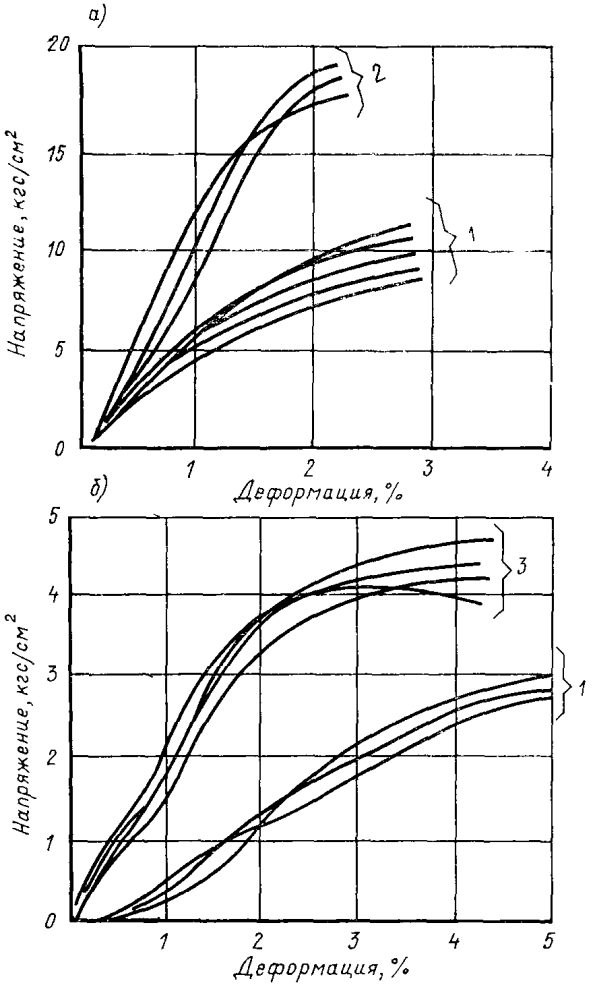


РИС. 22. ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА ПЕНОПЛАСТА ПС-1 (γ=40 кг/м³) ПРИ СТУПЕНЧАТО ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ



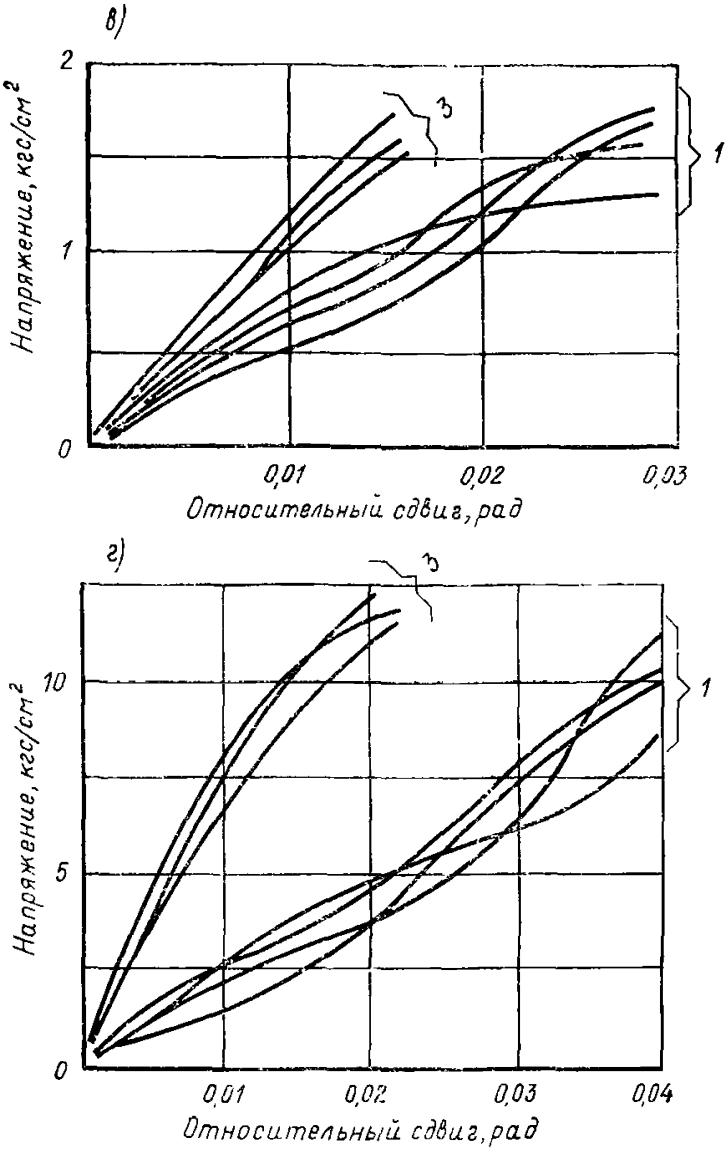


РИС. 23. ВЛИЯНИЕ ЭКСПОНИРОВАНИЯ В НОРМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЕНОПЛАСТОВ

а — диаграммы растяжения поливинилхлоридного пенопласта ВХВ-1 (γ = =100 кг/м³); *б* — диаграммы сжатия полистирольного пенопласта ПС-4 (γ = =40 кг/м³); *в* — диаграммы сдвига фенолоформальдегидного пенопласта ФРП-1 (γ=80 кг/м³); *г* — полистирольного пенопласта ПС-1 (γ=100 кг/м³); *1* — испытание образцов в состоянии поставки; *2* — испытание образцов после термообработки в течение 3 ч при температуре 60° С; *3* — состояние образцов после экспонирования в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 1,5 года

Таблица 16

Марка пенопласта	γ, кг/м³	$\sigma_р$, кг/см²	$\sigma_с$, кг/см²	τ, кг/см²	$E_р$, кг/см²	$E_с$, кг/см²	G, кг/см²
ПСБС	20	1,1	1,2	0,19	80	60	25
ПСБС	40	2,1	2,5	1,3	130	100	50
ПСБС	60	4,5	4,5	3,4	250	200	100
ПСБ	20	1,2	1,2	1,1	80	60	25
ПСБ	40	2,5	2,6	1,6	130	100	50
ПСБ	60	4,5	4,5	3,4	250	200	100
ПСБ-МП	120	3	5	—	—	400	—
ПС-1	100	22	12	11	1000	600	250
ПС-4	40	8	3,5	3	250	130	100
ПС-4	60	13	5	5	400	220	200
ФРП-1	60	1,6	2,2	1,4	100	80	70
ФРП-1	80	2,6	3,7	1,6	110	100	80
ФРП-1	100	3,3	5,2	2,2	135	—	110
Виларес-5	40	1,2	1,5	1	70	—	30
Виларес-5	60	2,2	2,9	1,5	120	80	60
Виларес-5	80	4	5,5	2	170	150	80
ФЛ-1	80	1,2	3	2,1	240	420	100
ФЛ-2	80	1,6	3,5	—	250	470	—
ФЛ-3	80	2,9	5,6	—	260	510	—
ФПБ	115	3,58	5,35	2,8	170	160	150
ЗСП-1	50	4	2	1,4	210	90	70
ПСФ-ВНИИСТ	100	2,5	4	1,35	200	320	180
ППБ	150	3,2	9,5	3,8	400	370	310
ППУ рецептуры ЗС	60	6	3,8	2,8	200	120	70
ППУ рецептуры 308Н	60	5	3,6	2,8	200	120	70
ППУ-308-М-9	60	5,2	4,6	4,4	160	—	60
ППУ-316-1	40	3,7	2,6	2,3	75	—	30
«Изолан»	50	2,4	3,6	2,3	200	—	45
МФП-1	20	—	0,3	—	—	—	—
БТП-М	10—14	—	0,1—0,4	—	—	—	—
ПВ-1	70	9,5	6	5,5	250	250	200
ПХВ-1	100	20	9	10,5	850	800	250
Сотопласт на основе крафт-бумаги	30	5,6	4,5	1,4	1600	850	380
Сотопласт на основе кабельной бумаги	50	11	5,3	2	2350	1200	590
	35	6,2	2,4	1,3	1440	400	360
	30	4,5	1,9	0,7	1050	285	250
	20	4,4	1,7	0,6	583	130	200
Сотопласт на основе хлопчатобумажной *бязевой* ткани	100	28,4	48,3	9,4	3650	2400	1100
	50	14	9,6	3,8	2000	600	460
Сотопласт на основе хлопчатобумажной ткани (суровая бязь)	100	34,2	48,3	11	4400	2600	1300
	50	16	13	5	2400	900	500

Примечание. Испытания образцов на сдвиг производились в направлении, параллельном направлению склеенных сторон ячеек структуры сотопластов.

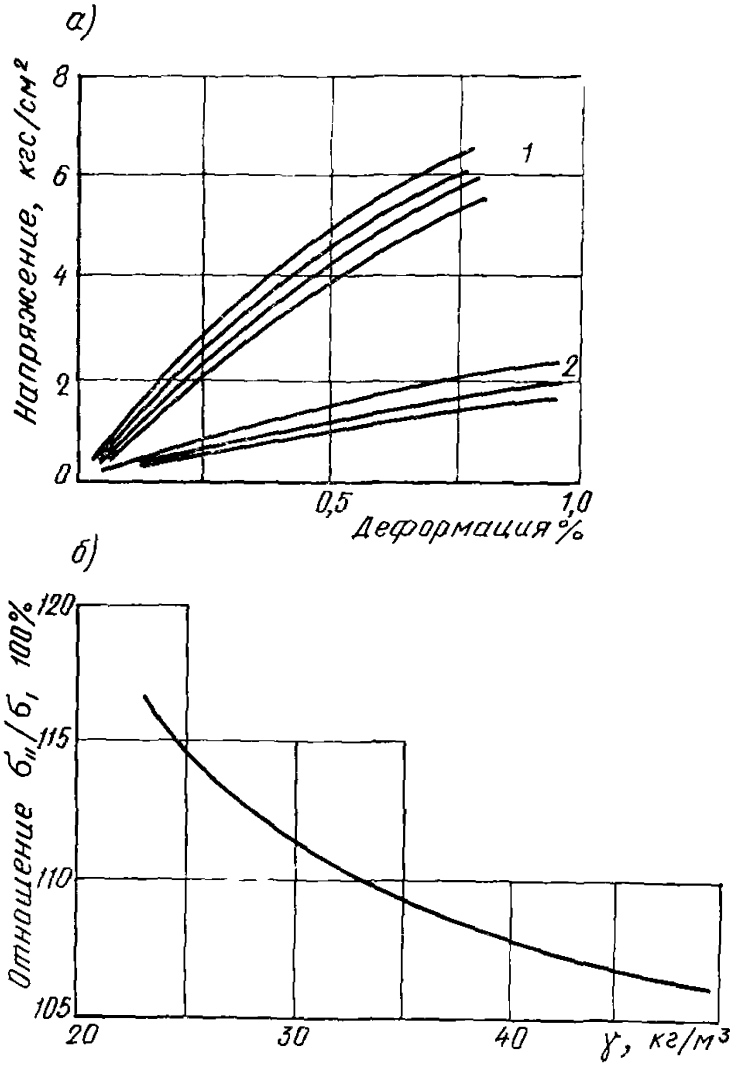


РИС. 24. ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ДИАГРАММУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПРОЧНОСТИ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО ПЕНОПЛАСТА ФРП-1

а — диаграммы растяжения пенопласта ($\gamma \approx 30$ кг/м³); *б* — зависимость отношения пределов прочности при сжатии от объемной массы образцов, изготовленных в направлении вспенивания композиции ($\sigma_{\parallel}$) и в перпендикулярном направлении ($\sigma_{\perp}$); *1* — испытание образцов, изготовленных в направлении вспенивания композиции; *2* — испытание образцов, изготовленных в направлении, перпендикулярном направлению вспенивания композиции

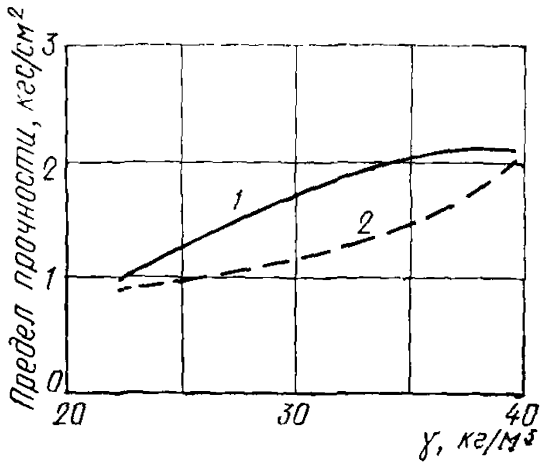


РИС. 25. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВОГО ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА ПСБС

1 — испытание образцов, изготовленных в направлении, параллельном наружной поверхности плит и блоков; *2* — испытание образцов, изготовленных в направлении, перпендикулярном наружной поверхности плит и блоков

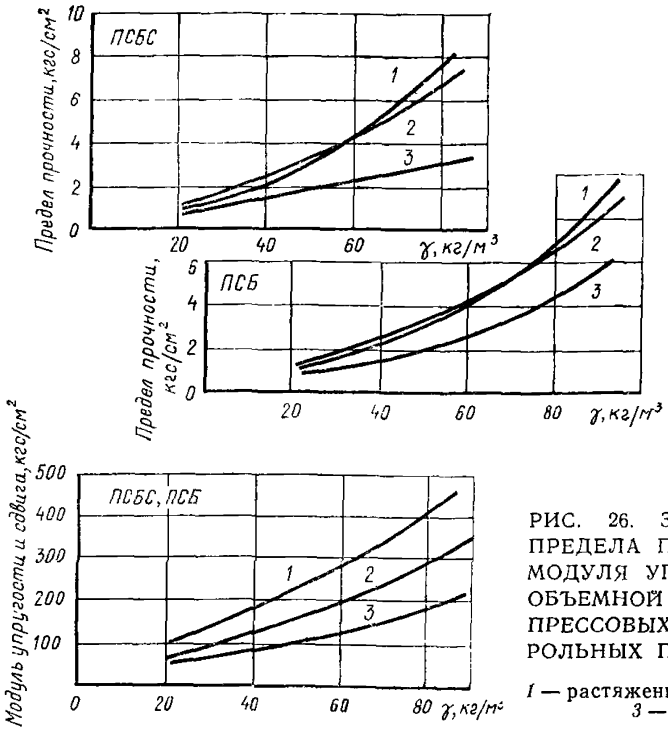


РИС. 26. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

5.13. Развитие эластических и остаточных деформаций при проведении кратковременных механических испытаний пенопластов и сотопластов может приводить к развитию гистерезисных явлений. Интенсивность их развития зависит от уровня приложенных напряжений (рис. 22).

5.14. Характер разрушения образцов в процессе механических испытаний определяется жесткостью полимерной основы пенопластов и сотопластов. При испытании на растяжение хрупких материалов разрушение происходит по плоскости, перпендикулярной направлению приложенного усилия; при испытании на сжатие — по диагональной плоскости; при испытании на сдвиг (кручением) — по винтовой плоскости. При проведении кратковременных испытаний материалов с повышенной эластичностью разрушение при сжатии образцов сопровождается их значительным смятием

5.15. Диаграммы «напряжение — деформация» пенопластов носят относительный характер. В процессе эксплуатации материалов может происходить изменение диаграмм деформирования, которое обусловлено повышением жесткости полимерной основы пенопластов. Существенное влияние на характер диаграмм «напряжение — деформация» оказывает также воздействие температурных факторов (рис. 23).

5.16. Прочностные и упругие характеристики различных марок пенопластов и сотопластов приведены в табл. 16. Пример статической обработки результатов кратковременных машинных испытаний выборок образцов различных партий беспрессовых полистирольных пенопластов приведен в прил. I.

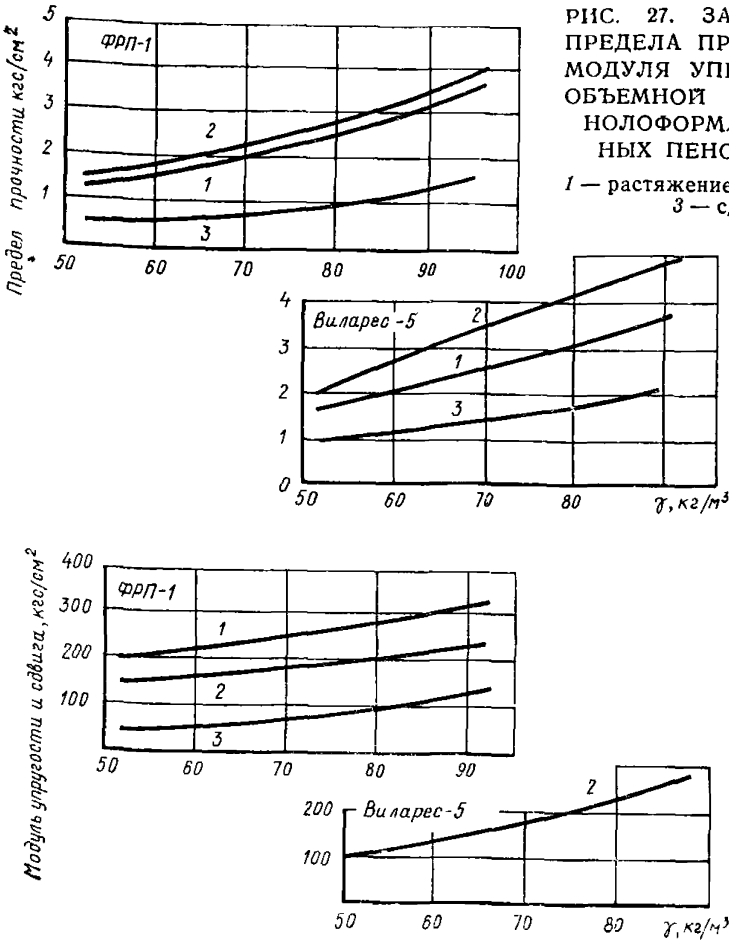


РИС. 27. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

5.17. Прочностные и упругие характеристики зависят от вида напряженного состояния пенопластов и сотопластов. Для полистирольных и полиуретановых пенопластов, обладающих высокими эластическими свойствами, справедливы соотношения $\sigma_c > \sigma_p > \tau$ и $E_p > E_c > G$, для фенолоформальдегидных — $\sigma_c > \sigma_p > \tau$ и $E_c > E_p > G$ (табл. 17).

5.18. Поперечное деформирование пенопластов обусловливается не столько *особенностями полимерной основы*, сколько спецификой их ячеистой структуры. Коэффициент Пуассона зависит от объемной массы пенопластов (табл. 18).

5.19. Пенопласты и сотопласты обладают анизотропией прочностных и упругих характеристик, которая обусловлена вытянутой формой ячеек. Для фенолоформальдегидных пенопластов прочность при сжатии в направлении вспенивания исходной композиции и в перпендикулярном направлении отличается на 20—30%, причем с уменьшением объемной массы этих пенопластов анизотропия механических характеристик возрастает (рис. 24). Анизотропия прочностных характеристик беспрессовых полистирольных пенопластов проявляется в наибольшей мере при объемной массе материалов 35÷÷40 кг/м³ (рис. 25).

На механические характеристики пенопластов и сотопластов при различных видах напряженного состояния влияет анизотропия

Таблица 17

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Соотношение прочностных и упругих характеристик при растяжении, сжатии и сдвиге пенопластов	
		прочностные	упругие
ПСБС, ПСБ	20	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
ПСБС, ПСБ	40—60	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
ПСБ-МП	80—160	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
ПС-1, ПС-4	40—100	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
ФРП-1		$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
Виларес-5	50—70	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$
ФЛ-1, ФЛ-2, ФЛ-3	40—200	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p < E_c > G$
ФПБ	60—80	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p \geqslant E_c > G$
ЗСП-1	50—80	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p \geqslant E_c > G$
ППБ	90—180	$\sigma_p < \sigma_c > \tau$	$E_p \leqslant E_c > G$
ППУ рецептуры ЗС	50—70	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p \sim E_c > G$
ППУ рецептуры 308Н	40—60	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p \sim E_c > G$
ПВ-1, ПХВ-1	40—100	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p \sim E_c > G$
Сотопласт бумажный	10—50	$\sigma_p > \sigma_c > \tau$	$E_p \sim E_c > G$
Сотопласт тканевый	30—100	$\sigma_p \sim \sigma_c > \tau$	$E_p > E_c > G$

Таблица 18

Пенопласты	γ, кг/м³	μ
Полистирольные	20—60	0,1—0,35
Поливинилхлоридные	40—100	0,2—0,3
Фенолоформальдегидный (ФЛ-1)	60	0,55
	100	0,49
	130	0,43
	160	0,37

структуры этих материалов. Для пенопластов в наибольшей мере она проявляется при растяжении, а для сотопластов — при сдвиге.

5.20. Характерной особенностью пенопластов и сотопластов является зависимость прочностных и упругих характеристик от объемной массы этих материалов. С увеличением их плотности происходит повышение механических характеристик по параболическому закону (рис 26—31).

5.21. Для оценки предела прочности при сжатии полистирольных пенопластов, изготовляемых как по беспрессовой, так и прессовой технологии, целесообразно использовать обобщенную зависимость прочности (рис. 32).

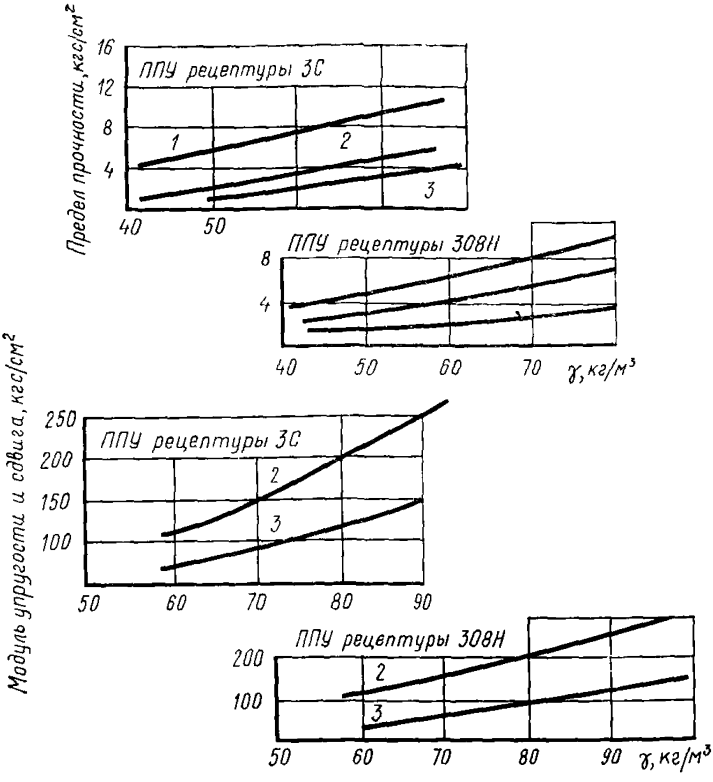


РИС. 28. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

5.22. Действие долговременных нагрузок низкой интенсивности (0,1—0,3 от $\sigma_р$) обусловливает снижение предела прочности пенопластов (рис. 33).

5.23. Повторное действие статических нагрузок вызывает изменение прочности и деформативности пенопластов (рис. 34, 35).

5.24. Расчет прочности при растяжении в зависимости от объемной массы хрупких пенопластов и сотопластов рекомендуется вести по уравнению $\sigma_i = K_э \sigma_0 \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_0}\right)^m$, где $K_э$ — коэффициент эффективности работы структурных элементов, для сотопластов $K_э = 0{,}3$, для пенопластов $K_э = 1$; m — структурный параметр. Значения параметров σ_0 и m для различных марок материалов приведены в табл. 19.

5.25. Для расчета предела прочности при растяжении полистирольных и поливинилхлоридных пенопластов, изготовляемых по прессовой технологии, рекомендуется использовать выражение $\sigma_р = 0{,}36\sigma_0\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)$. Для расчета предела прочности при растяжении

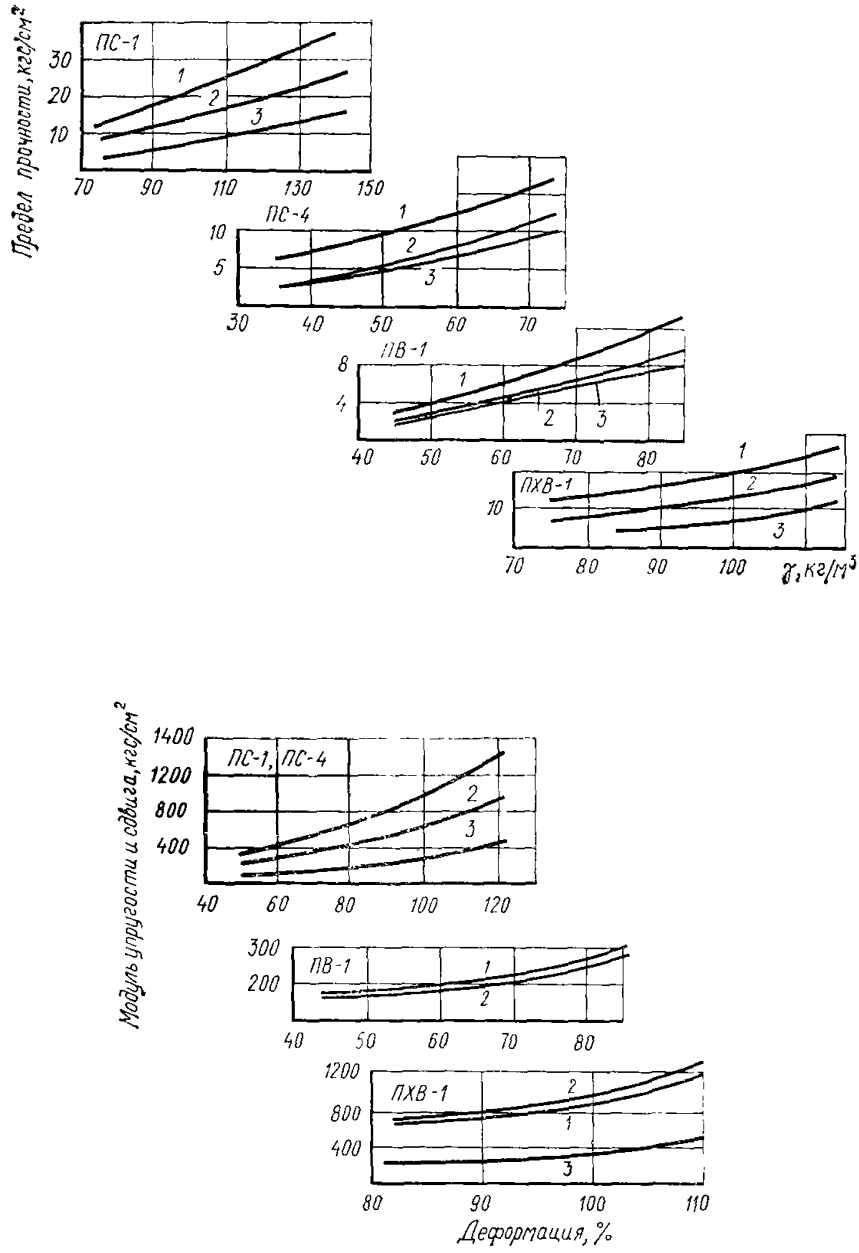


РИС. 29 ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ И ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

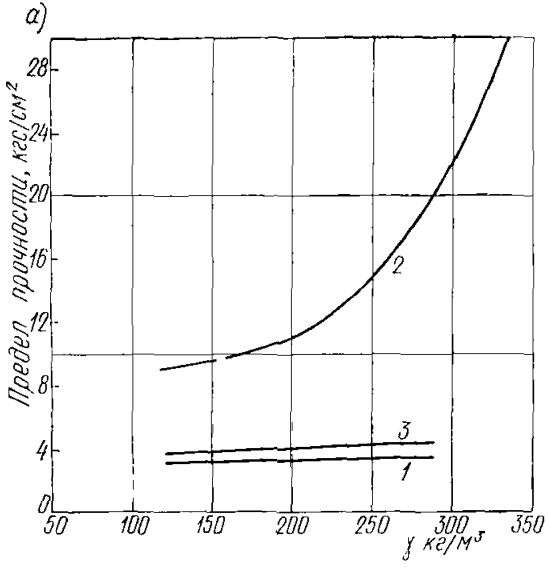
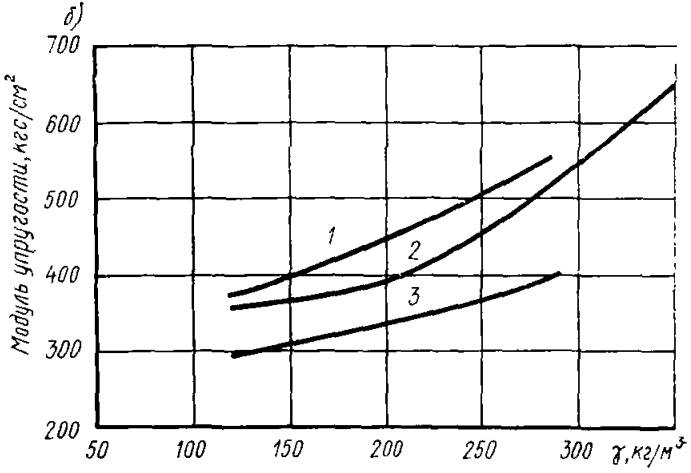


РИС. 30. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ (*а*) И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ (*б*) ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПЕРЛИТОПЛАСТБЕТОНА

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг



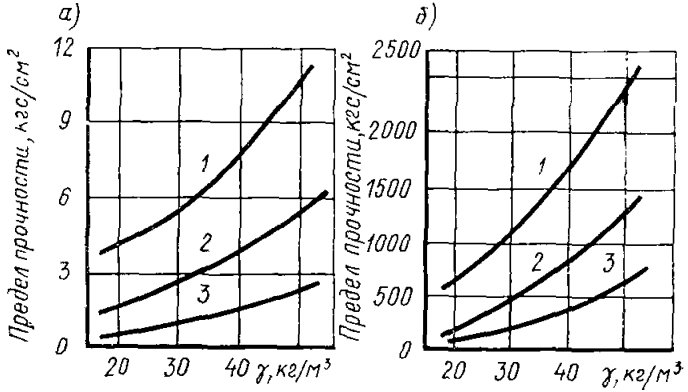


РИС. 31 ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ (*а*) И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ (*б*) ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ СОТОПЛАСТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НА ОСНОВЕ КРАФТ-БУМАГИ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

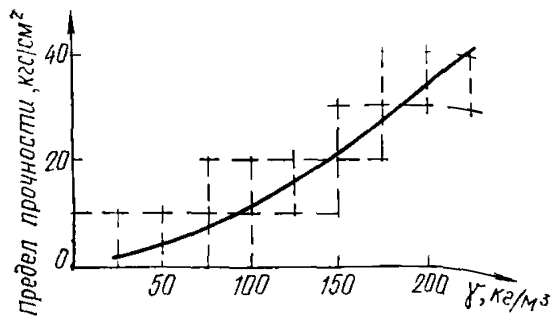
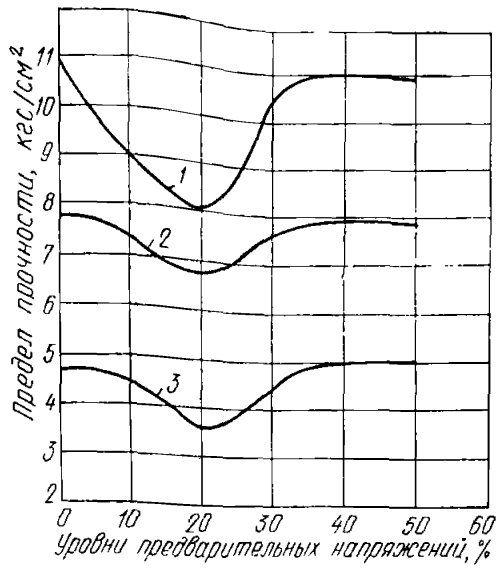


РИС. 32. ОБОБЩЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ПО БЕСПРЕССОВОЙ И ПРЕССОВОЙ ТЕХНОЛОГИЯМ

РИС. 33. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПЕНОПЛАСТОВ ОТ УРОВНЯ ПРИЛОЖЕННЫХ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК (ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК СОСТАВЛЯЛА 1500 ч)

1 — пенопласт марки 1-ПВ-1 (γ=40 кг/м³); *2* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=50 кг/м³); *3* — полистирольный пенопласт (γ=30 кг/м³)



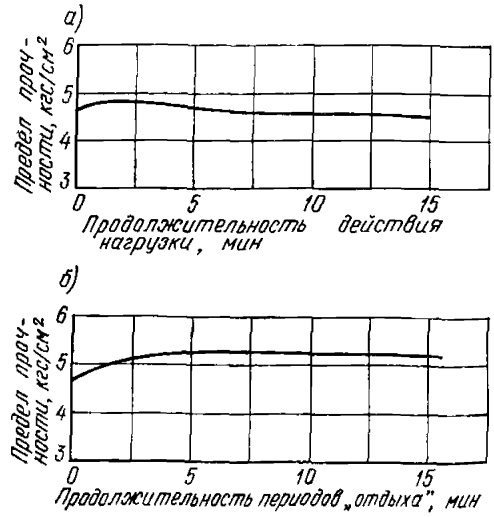


РИС. 34. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА (γ=30 кг/м³) ОТ РЕЖИМА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК, СОСТАВЛЯЮЩИХ 0,5 ОТ $\sigma_р$ (КОЛИЧЕСТВО ЦИКЛОВ 62)

а — при постоянном режиме продолжительности периодов действия нагрузки (1 мин); *б* — при постоянном режиме продолжительности периодов «отдыха» (1 мин)

Таблица 19

Материалы	γ, кг/м³	σ_0, кг/м³	m
ПСБС	20—100	312	1,2
ПСБ	20—100	156	1,41
ПС-1	90—150	363	1,02
ПС-4	40—80	363	1,05
ФРП-1	40—80	630	1,47
ППУ рецептуры ЗС	50—100	145	1,05
ПХВ-1	90—130	288	1,03
Сотопласт на основе крафт-бумаги	30—50	122	1,16
Сотопласт на основе кабельной бумаги	30—50	286	1,08
Сотопласт на основе хлопчатобумажной бязевой ткани	50—100	222	1,04
Сотопласт на основе хлопчатобумажной ткани (суровая бязь)	50—100	317	1,13

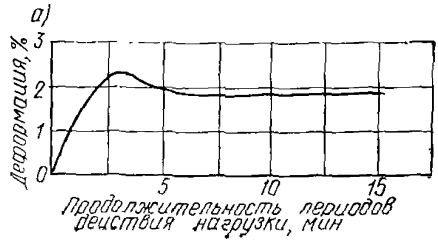
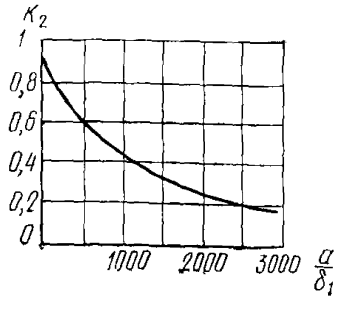


РИС. 35. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛИСТИРОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА (γ=30 кг/м³) ОТ РЕЖИМА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК, СОСТАВЛЯЮЩИХ 0,5 ОТ σ_p (КОЛИЧЕСТВО ЦИКЛОВ 62)

а — при постоянном режиме периодов «отдыха» (1 мин); *б* — при постоянном режиме периодов действия нагрузки (1 мин)



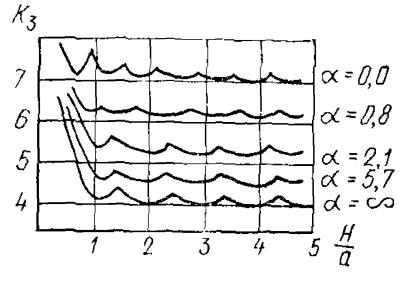


РИС. 36 ГРАФИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ K_2 И K_3

фенолоформальдегидных пенопластов удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных дает выражение

$$\sigma_p = 0{,}1\sigma_0\left(1 + 2\frac{\gamma}{0{,}15\gamma_0}\right)\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right).$$

5.26. С учетом анизотропии ячеистой структуры предел прочности при растяжении фенолоформальдегидных пенопластов вычислять по уравнениям:

в направлении вспенивания композиции

$$\sigma_i = 0{,}6\sigma_0\left(\frac{1}{1 + 1/K^2}\right)\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right);$$

в направлении, перпендикулярном вспениванию композиции,

$$\sigma_i = 0{,}6\sigma_0\left(\frac{1}{1 + K^2}\right)\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right),$$

где K — отношение продольного и поперечного размера ячеистой структуры пенопласта.

5.27. Расчет прочности при сжатии пенопластов ведется с учетом характера их ячеистой структуры. Для расчета прочности пенопластов с закрытоячеистой структурой рекомендуется использовать уравнение в виде

$$\sigma_i = \frac{\pi^2 E_0}{108}\left(\frac{1}{1 + 0{,}3\dfrac{\gamma}{\gamma_0}}\right)\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)^2.$$

Расчет прочности пенопластов с открытоячеистой структурой ведут по уравнению

$$\sigma_i = \frac{\pi^2 E_0}{432}\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)^2.$$

5.28. Для расчета прочности при сдвиге полистирольных пенопластов целесообразно использовать уравнение в виде

$$\tau = 0{,}64\sigma_0\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)^m,$$

где m — структурный параметр (см. табл. 19).

5.29. Оценка модуля упругости при растяжении полистирольных и поливинилхлоридных пенопластов ведется по уравнению

$$E = 0{,}3E_0\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right),$$

а фенолоформальдегидных пенопластов — по уравнению вида

$$E = 0{,}1E_0\left(1 + 2\frac{\gamma}{0{,}3\gamma_0}\right)\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right).$$

5.30. Для расчета модуля упругости при сжатии сотопластов рекомендуется использовать выражение

$$E_0 = \frac{0{,}534N}{\delta_1\left(K_1K_2d + 51K_3\delta_1\right)},$$

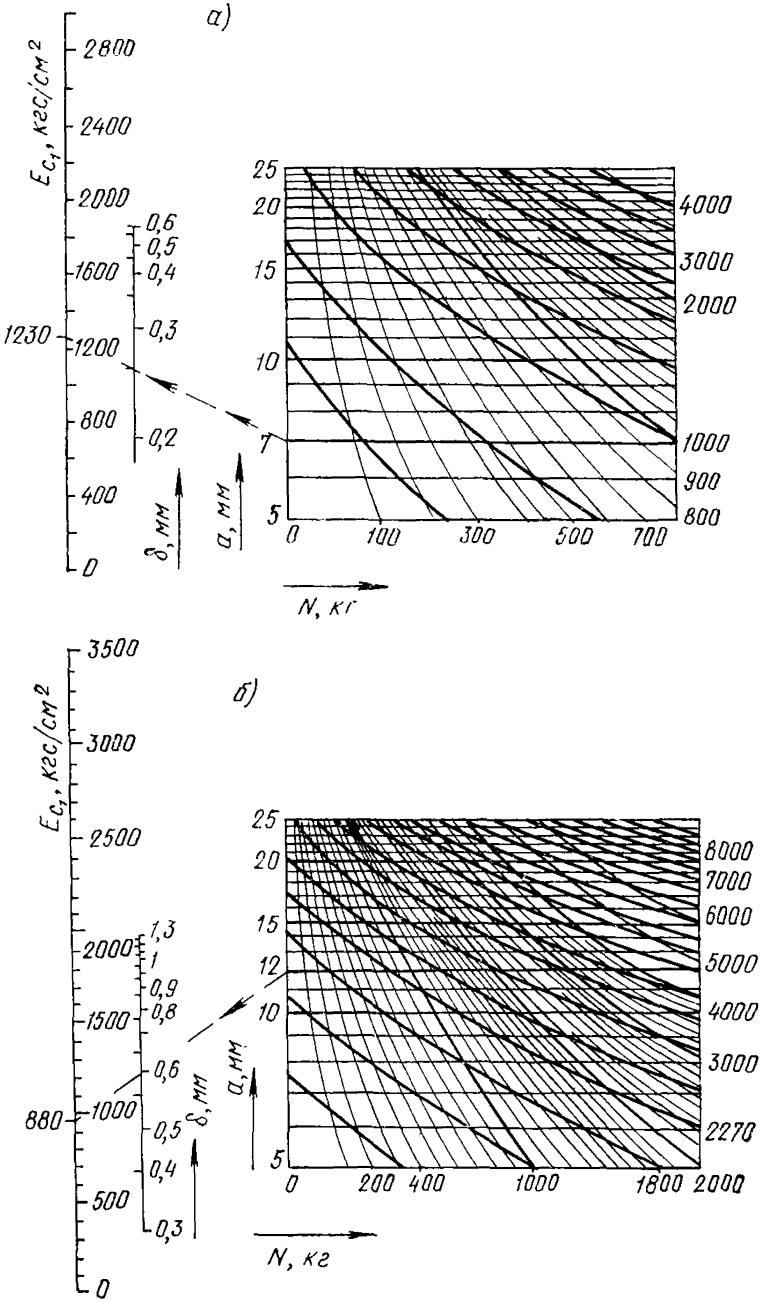


РИС. 37. НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СЖАТИИ БУМАЖНОГО (*а*) И ТКАНЕВОГО (*б*) СОТОПЛАСТОВ

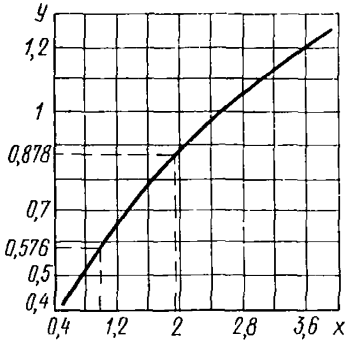


РИС. 38 ГРАФИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ξ

где N — разрушающая нагрузка; K_1, K_2, K_3 — расчетные коэффициенты ($K_1 = 1{,}2 \div 1{,}3$); K_2 — определяется исходя из структурных характеристик материала; K_3 — зависит от высоты сотового заполнителя и параметра a, $K_3 = 6 \div 7$) (рис. 36). Номограммы для определения модуля упругости сотопластов приведены на рис. 37.

5.31. Расчет модуля сдвига сотопластов ведется с учетом анизотропного строения этих материалов. Модуль сдвига сотопласта в направлении, параллельном склеенным сторонам ячеек, определяется по уравнению

$$G_{\parallel} = \xi \frac{\delta_1}{a} \left[\frac{E_c' E_p}{(1+\mu)\left(E_c' + E_p'\right)} \right],$$

а в направлении, перпендикулярном склеенным сторонам ячеек, это выражение имеет вид

$$G_1 = 0{,}576 \frac{\delta_1}{a} \left[\frac{E_c' E_p'}{(1+\mu)\left(E_c' + E_p'\right)} \right],$$

где ξ — коэффициент, определяемый в зависимости от

$$x = \frac{E_c'' E_p'' \left(E_c' + E_p'\right)}{E_c' E_p' \left(E_c'' + E_p''\right)},$$

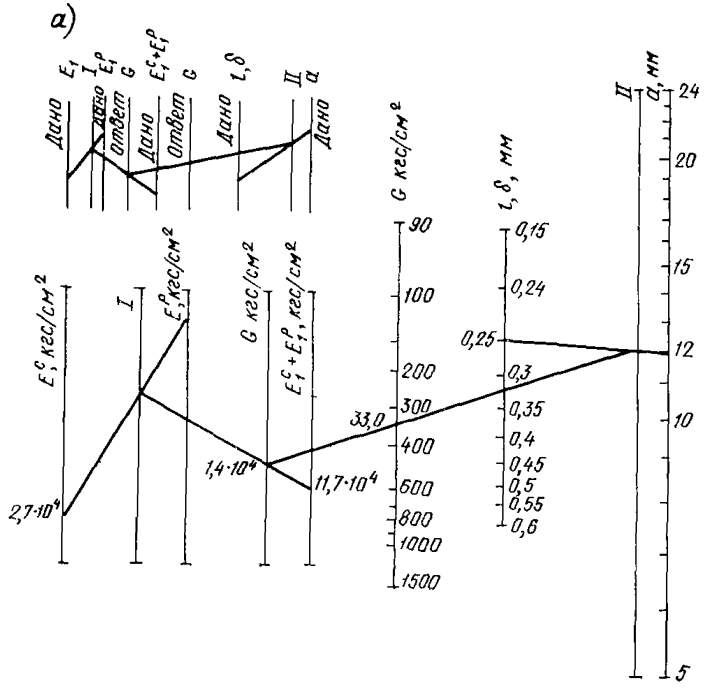
E_c', E_c'', E_p', E_p'' — модули упругости при сжатии и растяжении пластин, составляющих одинарные и сдвоенные стенки ячеек (рис. 38).

Номограммы для определения модуля сдвига сотопластов приведены на рис. 39.

6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

6.1. Воздействие температурно-влажностных факторов приводит к снижению механических характеристик пенопластов и сотопластов. Стабильность этих материалов в различных температурных и влажностных условиях определяется теплостойкостью и водостойкостью их полимерной основы.

6.2. В условиях повышения температур и влажности механическое поведение пенопластов и сотопластов находит проявление в отклонении от линейности диаграммы «напряжение—деформация». При пониженных температурах диаграмма деформирования приближается к линейной (рис. 40).



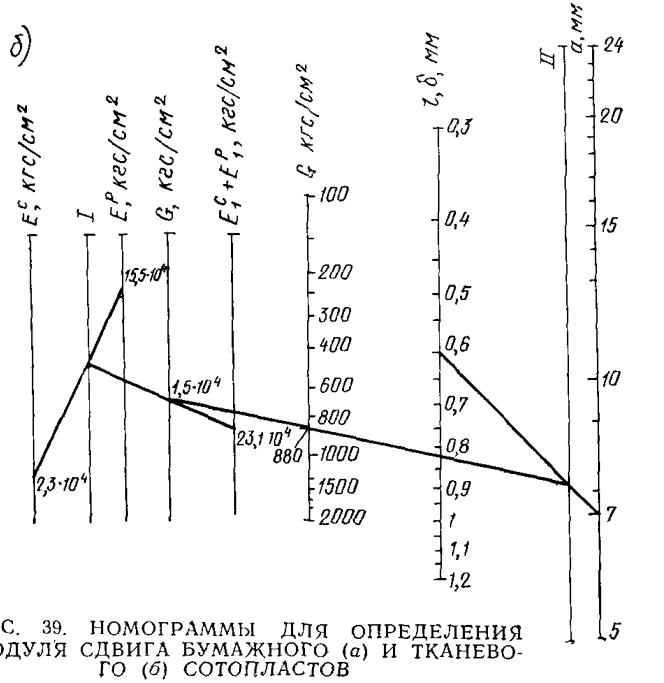


РИС. 39. НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ СДВИГА БУМАЖНОГО (*а*) И ТКАНЕВОГО (*б*) СОТОПЛАСТОВ

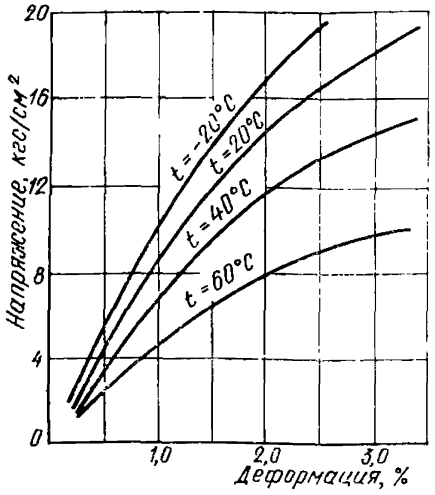


РИС. 40. ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОГО ПЕНОПЛАСТА ПХВ-1 (γ=100 кг/м³)

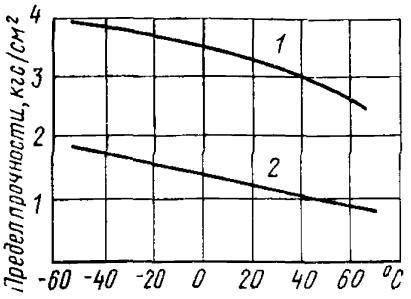


РИС. 41 ХАРАКТЕРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

1 — пенопласт марки ПСБ (γ=50 кг/м³); *2* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=40 кг/м³)

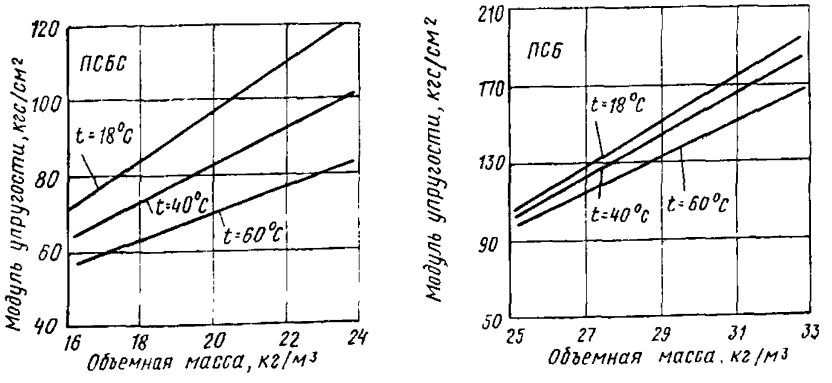


РИС. 42. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Таблица 20

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Обозначение характеристики	Соотношения характеристик (%) при температурах			
			минус 60	20	40	60
ПСБС	25—40	$\sigma_р$	125	100	90	75
		$\sigma_с$	114	100	90	75
		$E_р$	140	100	80	65
ПСБ	20—40	$\sigma_р$	120	100	85	65
		$\sigma_с$	110	100	90	75
		$E_р$	130	100	75	60
ПС-1	100	$\sigma_р$	150	100	85	60
		$\sigma_с$	120	100	90	75
ПС-4	40—60	$\sigma_р$	160	100	85	67
		$\sigma_с$	120	100	85	67
ФРП-1	60—80	$\sigma_р$	110	100	85	75
		$\sigma_с$	120	100	85	80
Виларес-5	60—80	$\sigma_р$	110	100	85	75
		$\sigma_с$	120	100	85	80
ФПБ	60—80	$\sigma_р$	110	100	85	79
		$\sigma_с$	120	100	85	80
ППБ	150	$\sigma_р$	98*	100	—	97
		$\sigma_с$	84*	100	—	74
		τ	92*	100	—	96
		$E_р$	79*	100	—	96
		$E_с$	87*	100	—	84
		G	97*	100	—	94
ПВХ-1	100	$\sigma_р$	120	100	88	74
		$\sigma_с$	160	100	75	45
		τ	140	100	75	58

* При t=—50° С.

Примечание Значения механических характеристик пенопластов, определенные при температуре 20° С, приняты за 100%.

6.3. Пенопласты на основе термоактивных полимерных композиций имеют более высокую стабильность механических характеристик при повышенных температурах. Интенсивное снижение механических характеристик пенопластов на основе термопластичных полимеров наблюдается вблизи температуры стеклования полимерной основы.

6.4. Характерные зависимости прочностных и упругих характеристик пенопластов приведены на рис. 41. Механические характеристики пенопластов при различных температурах даны в табл. 20. По сравнению с прочностными характеристиками снижение упругих показателей происходит в большей степени.

6.5. Определенное влияние на стабильность механических характеристик оказывает объемная масса пенопластов. С уменьшением объемной массы при повышенных температурах более заметно сни-

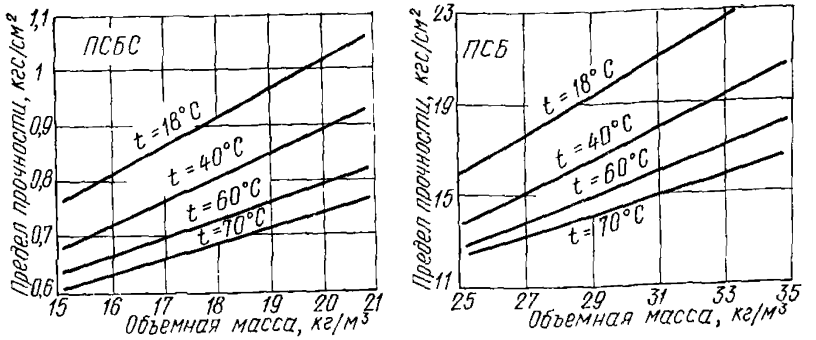


РИС. 43. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

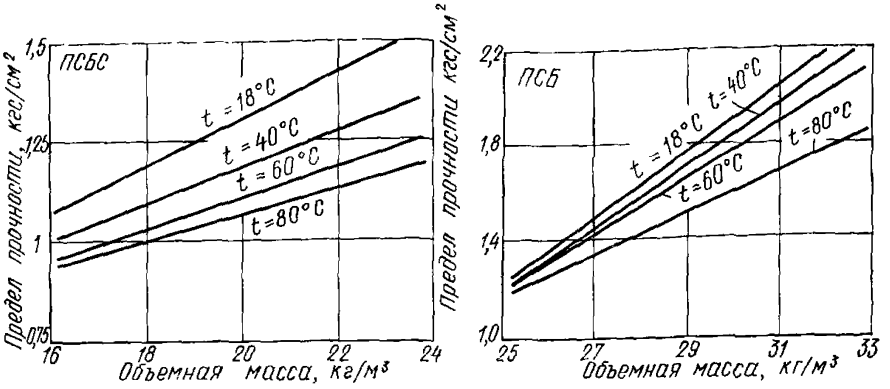


РИС. 44. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

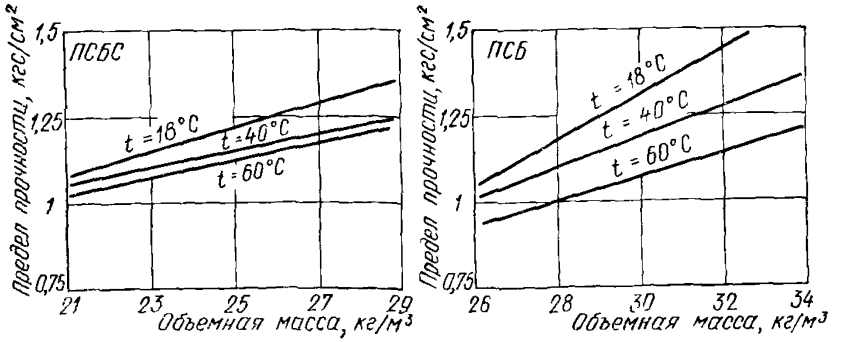


РИС 45. ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

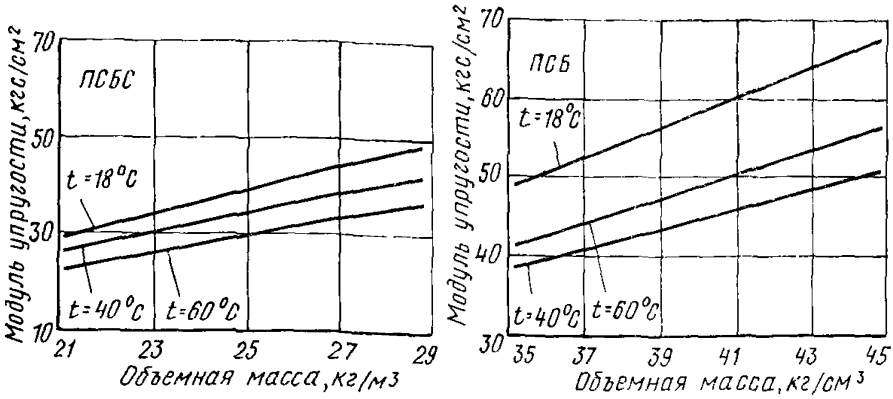


РИС. 46. ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ СДВИГА ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ БЕСПРЕССОВЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

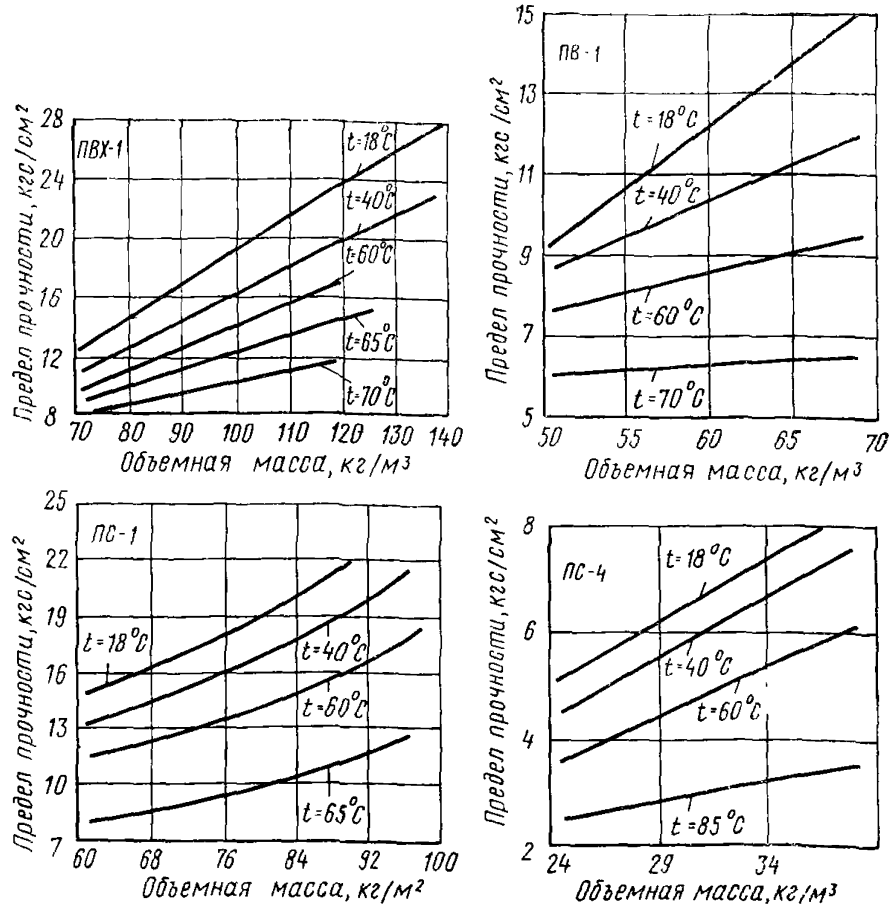


РИС. 47. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ И ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

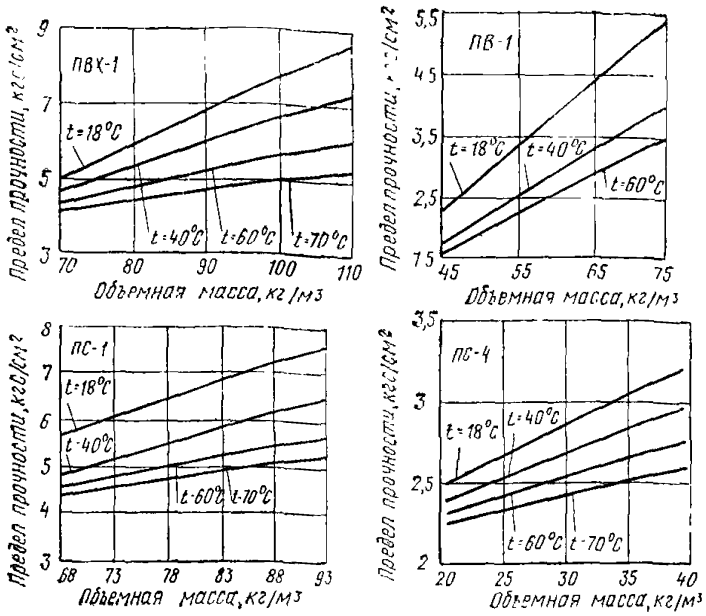


РИС. 48 ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ И ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

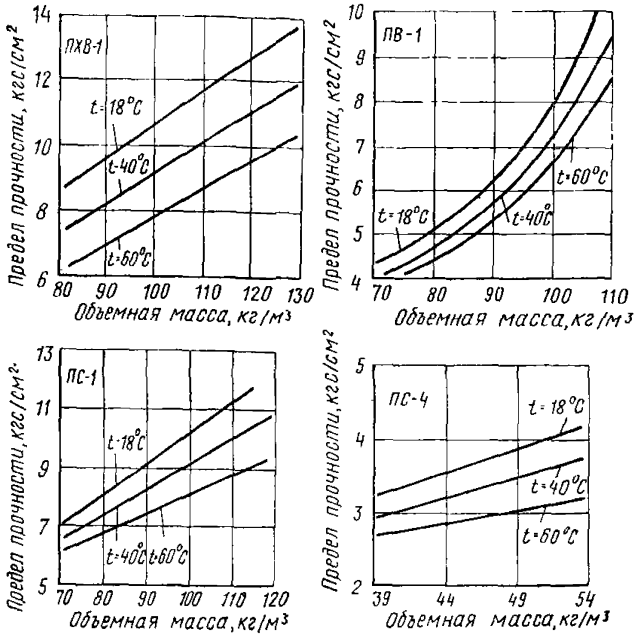


РИС. 49. ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ И ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

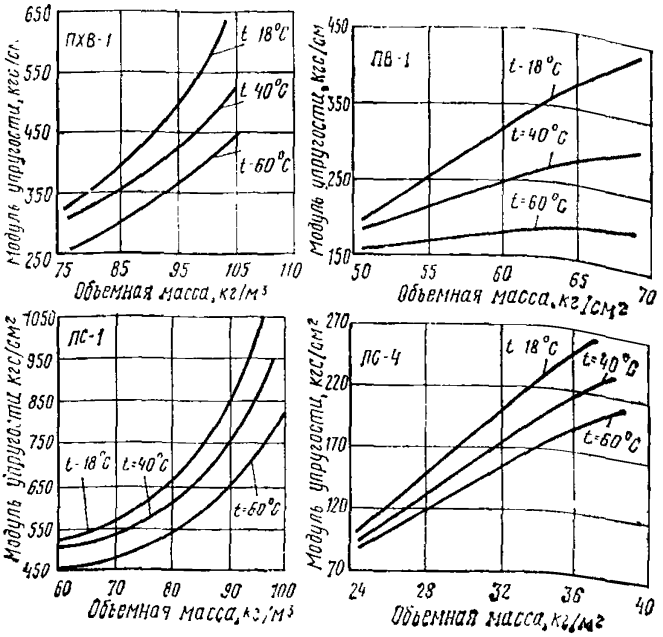


РИС. 50. ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ И ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

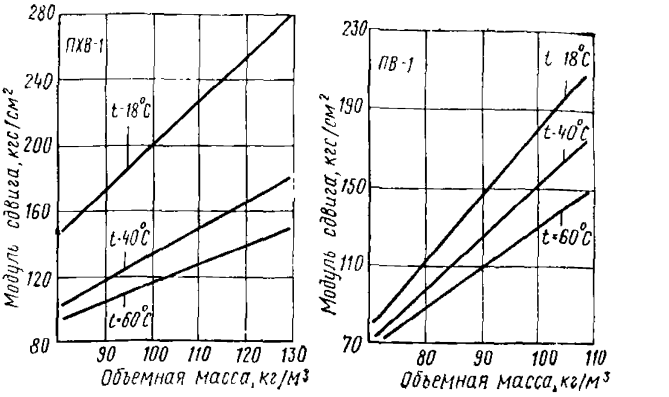


РИС. 51. ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ СДВИГА ОТ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ И ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

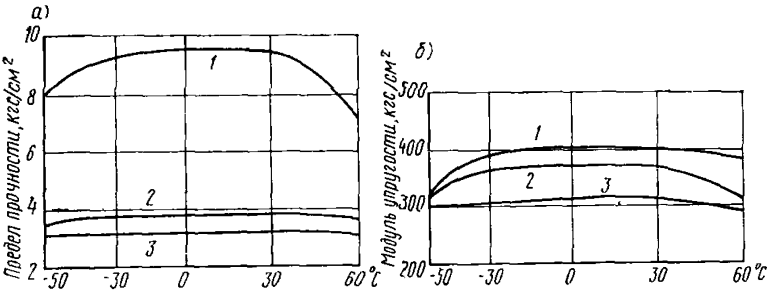


РИС. 52. ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ (*а*) И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ (*б*) ПЕРЛИТОПЛАСТБЕТОНА (γ=150 кг/м³) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

1 — растяжение; *2* — сжатие; *3* — сдвиг

жаются прочностные и упругие характеристики этих материалов (рис. 42—52).

6.6. Характер разрушения образцов пенопластов на термопластичной основе зависит от температуры испытаний. При отрицательных температурах имеет место хрупкое разрушение при растяжении и сдвиге этих материалов. При повышенных температурах разрушение может сопровождаться развитием вынужденно эластических деформаций. В условиях отрицательных температур пенопласты на основе реактопластов (например, фенолоформальдегидные) обнаруживают возрастание хрупкости.

6.7. При отрицательных температурах наблюдается повышение коэффициента поперечных деформаций.

6.8. Воздействие влажностных факторов приводит к изменению прочностных и упругих характеристик пенопластов. Интенсивность изменения механических характеристик зависит от вида напряженного состояния материалов (табл. 21). Наиболее чувствительным показателем к воздействию водной среды является предел прочности при сдвиге материалов.

Таблица 21

Обозначение характеристики	γ, кг/м³	Прочностные характеристики пенопласта ПСБ, кг/см²	
		в сухом состоянии	в увлажненном состоянии
σ_p	18	1,52	1,6
σ_p	68	4,21	4,2
σ_c	18	1,15	1,06
σ_c	68	4,99	4,67
τ	20	1,2	1,1
τ	75	5,5	4,5

6. 9. При периодическом увлажнении — высушивании в ряде случаев наблюдается существенное снижение прочностных и упругих характеристик пенопластов (табл. 22). Цикл испытания пенопластов

Таблица 22

Пенопласты	γ, кг/м³	Обозначение характеристики	Изменение прочностных и упругих характеристик пенопластов при попеременном замораживании—оттаивании (циклы)		
			0	10	40
ПСБ	40	σ_p	100	120	118
		σ_c	100	105	103
		E_c	100	95	88
ПС-1	100	σ_p	100	117	115
Виларес-5	60	σ_p	100	90	105
		σ_c	100	93	98
		τ	100	95	95
		E_c	100	98	102
Виларес-5*	60	σ_p	100	91	23
		σ_c	100	75	39
		τ	100	70	21
ППУ рецептуры ЗС	60	σ_p	100	107	101
		σ_c	100	112	120
		E_c	100	90	91
ППУ рецептуры 308Н	70	σ_p	100	97	93
		σ_c	100	98	104
ППБ	150	σ_c	100	91	—

* Цикл испытания состоял из увлажнения в воде в течение 8 ч и замораживания при —20° С в течение 16 ч.

Примечание. Значения механических характеристик пенопластов в исходном состоянии приняты за 100%.

состоял из увлажнения в воздушной среде (φ=95%) при 20° С в течение 2 ч и замораживания при —20° С в течение 2 ч. Периодическое замораживание — прогревание образцов оказывает разрушающее воздействие на эти материалы.

6.10. Продолжительное воздействие химических сред на пенопласты приводит к снижению их механических характеристик (табл. 23).

Таблица 23

Обозначение характеристики	Изменение прочности (в кг/см²) пенопласта ФРП-1 (γ=60 кг/м³) при выдерживании образцов в парах соляной кислоты в течение (ч)				
	0	168	720	1440	2160
σ_c	3,21	3,22	3,55	2,66	2,89
τ	4,56	—	3,57	—	3,65

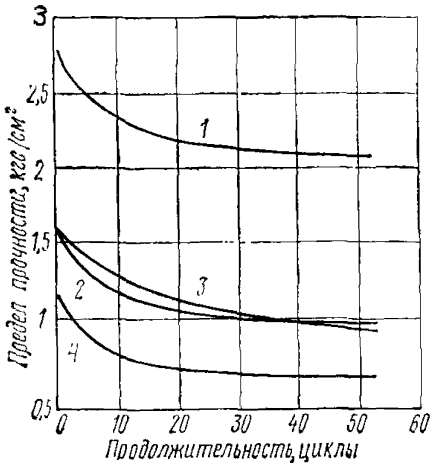


РИС. 53. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ В ПРОЦЕССЕ ЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ (РЕЖИМ «СЕВЕР»)

1 — предел прочности при сжатии пенопласта ФРП-1; *2* — предел прочности при растяжении пенопласта ФРП-1; *3* — предел прочности при сжатии пенопласта ФПБ; *4* — предел прочности при растяжении пенопласта ФПБ

6.11. В условиях биологических сред наблюдается некоторое изменение механических характеристик пенопласта. Биостойкость обусловливается отсутствием питательной среды в составе этих материалов, а также наличием веществ (антисептиков), токсичных для грибков. Изменение прочности при растяжении полистирольных пенопластов при длительном экспонировании в биологических средах составляет 15—30%, фенолоформальдегидных — 8—13% и поливинилхлоридных — до 28%.

6.12. Периодическое прогревание — замораживание образцов по режимам «Север» и «Восток» вызывает изменение прочностных характеристик пенопластов. Режим «Север» предусматривает выдерживание образцов в условиях повышенной влажности ($\varphi = 60—80\%$) при низких (минус 60° С), знакопеременных (от минус 20 до 20° С) и положительных (20+ +40° С) температурах. Один цикл испытания содержит 8 переходов через 0° С. Режим «Восток» предусматривает выдерживание увлажненных образцов при положительных и отрицательных температурах (60, 20° С, минус 60° С). Один цикл испытания содержит 6 переходов через 0° С. Продолжительность каждого цикла испытания составляет 24 ч. Результаты цикловых испытаний пенопластов приведены на рис. 53—55.

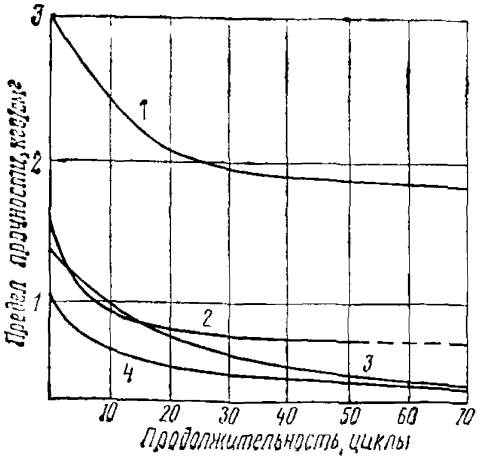


РИС. 54. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ В ПРОЦЕССЕ ЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ (РЕЖИМ «ВОСТОК»)

1 — предел прочности при сжатии пенопласта ФРП-1; *2* — предел прочности при растяжении пенопласта ФРП-1; *3* — предел прочности при сжатии пенопласта ФПБ; *4* — предел прочности при растяжении пенопласта ФПБ

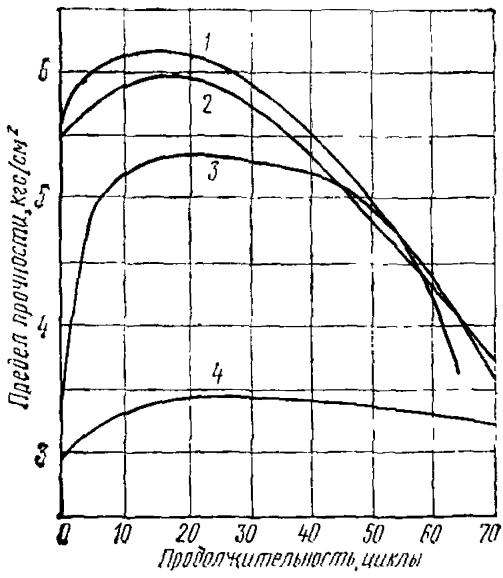


РИС. 55. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПЕНОПЛАСТА ППУ-РЕЦЕПТУРЫ ЗС В ПРОЦЕССЕ ЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

1 — предел прочности при растяжении (режим «Восток»); *2* — предел прочности при растяжении (режим «Север»); *3* — предел прочности при сжатии (режим «Север»); *4* — предел прочности при сжатии (режим «Восток»)

6.13. Продолжительное экспонирование образцов в восточных и северных районах вызывает изменение прочностных характеристик фенолоформальдегидных и полиуретановых пенопластов (табл. 24).

Таблица 24

Марка	γ, кг/см²	Обозначение характеристики	Изменение предела прочности пенопласта (в кгс/см²) при экспонировании образцов в атмосферных условиях в течение (в мес.)				
			0	6	12	18	24
ФРП-1	60	$\sigma_р$	1,6	1,4 / 1,5	1,23 / 0,86	1,16 / 1,18	0,9 / 1,11
ФРП-1	60	$\sigma_с$	2,9	2,84 / 3,3	2,55 / 3,07	1,64 / 1,69	1,71 / 1,7
ФПБ	60	$\sigma_р$	1,2	0,61 / 0,8	0,59 / 0,59	0,3 / 0,36	0,26 / 0,27
ФПБ	60	$\sigma_с$	1,6	0,99 / 0,68	0,91 / 0,59	0,68 / 0,65	0,65 / 0,6
ППУ-3	60	$\sigma_р$	6,5	4,84 / 5,2	4,39 / 4,96	—	—
ППУ-3	60	$\sigma_с$	3,3	4,47 / 4,34	4,45 / 4,46	—	—

Примечание. В числителе приведены результаты испытаний образцов пенопластов после экспонирования на стенде в г. Красноярске, а в знаменателе — на стенде в г Норильске.

7. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ, ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ

7.1. При воздействии длительных нагрузок на пенопласты и сотопласты в изменении прочностных и деформационных свойств встречаются особенности, обусловленные наличием полимерной основы и специфическим строением этих материалов.

7.2. Приложение длительных нагрузок способствует развитию в структурных элементах пенопластов и сотопластов релаксационных процессов, приводящих к снижению долговечности и повышению деформативности этих материалов.

7.3. При действии длительно приложенных нагрузок сжатия и сдвига пенопласты и сотопласты зачастую не имеют явного характера разрушения, в этих условиях развиваются деформации ползучести.

7.4. Для оценки долговечности под нагрузкой пенопластов и сотопластов, имеющих хрупкий характер разрушения, используют температурно-временну́ю зависимость прочности, базирующуюся на флуктуационной концепции, согласно которой процесс разрушения материала носит кинетический характер и осуществляется путем преодоления взаимодействующими частицами энергетического барьера в результате тепловых флуктуаций.

7.5. Временные зависимости прочности при растяжении пенопластов устойчиво линейны в полулогарифмической системе координат (рис. 56). Для сотопластов они имеют более сложный характер, их устойчивая линейность в полулогарифмической системе координат наблюдается только в ограниченном временном интервале (рис. 57).

7.6. Воздействие атмосферных факторов разрушает пенопласты и сотопласты, вызывает снижение долговечности под нагрузкой этих материалов (рис. 58, 59).

7.7. Деформируемость пенопластов и сотопластов во времени существенно зависит от вида напряженного состояния материалов (рис. 60—62).

7.8. В наибольшей степени ползучесть пенопластов и сотопластов проявляется при сжатии и сдвиге материалов. При длительном действии сжимающих нагрузок пенопласта и сотопласта обычно не имеет явного характера разрушения образцов, исключение в этом отношении составляют материалы повышенной хрупкости

7.9. При длительном действии нагрузок сжатия и сдвига наблюдается постепенное нарастание деформаций ползучести пенопластов и сотопластов (см. рис. 61, 62). Развитие во времени значительных деформаций сдвига этих материалов обусловлено подвижностью их структурных элементов.

7.10. Воздействие атмосферных факторов повышает интенсивность развития деформаций ползучести пенопластов (рис. 63).

7.11. При действии сжимающих и сдвигающих нагрузок отсутствует период резкого увеличения деформативности пенопластов и сотопластов, которое могло быть принято за начало явного разрушения материалов. В ряде случаев это явление наблюдается и при действии растягивающих нагрузок. Поэтому в качестве критерия сопротивляемости пенопластов и сотопластов действию длительных нагрузок принимается либо величина длительной прочности, либо ограниченная деформативность материалов, соответствующая области затухающей ползучести (нагрузки составляют 0,3—0,5 от предела прочности материала).

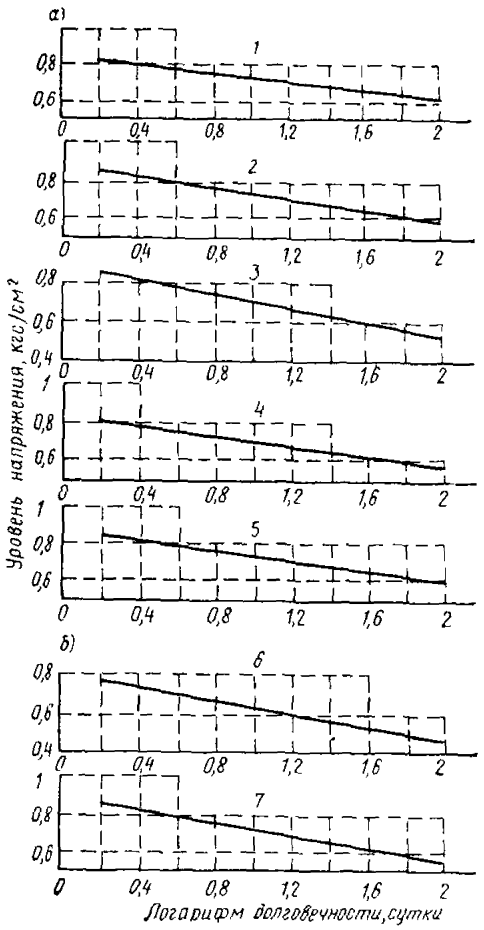


РИС. 56. ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПЕНОПЛАСТОВ В НОРМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ

а — полистирольные пенопласты; *б* — поливинилхлоридные пенопласты; *в* — фенолоформальдегидные пенопласты; *г* — полиуретановые пенопласты; *1* — пенопласты марки ПСБ (γ=40 кг/м³); *2* — пенопласт марки ПСБС (γ=60 кг/м³); *3* — пенопласт марки ПС-4 (γ=40 кг/м³); *4* — пенопласт марки ПС-4 (γ=60 кг/м³); *5* — пенопласт марки ПС-1 (γ=100 кг/м³); *6* — пенопласт марки ПВ-1 (γ=60 кг/м³); *7* — пенопласт марки ПХВ-1 (γ=100 кг/м³); *8* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=60 кг/м³); *9* — пенопласт марки Виларес-5 (γ=60 гк/м³); *10* — пенопласт ППУ рецептуры ЗС (γ=60 кг/м³); *11* — пенопласт ППУ рецептуры 308Н (γ=6 кг/м³)

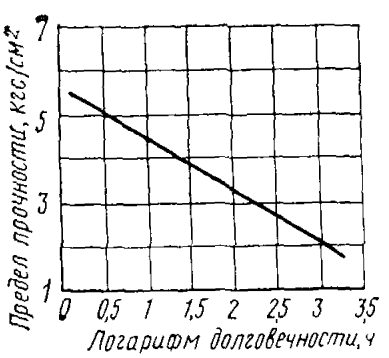


РИС. 57. ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ БУМАЖНОГО СОТОПЛАСТА В НОРМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ (a=15 мм)

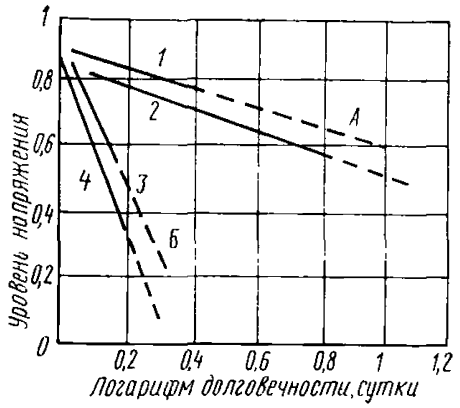


РИС. 58. ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ

А — в условиях стандартной температуры; *Б* — в климатических условиях Красноярска; *1* — пенопласт марки ФПБ (γ=40 кг/м³); *2* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=80 кг/м³); *3* — пенопласт марки ФПБ (γ=40 кг/м³); *4* — пенопласт марки ФРП-1 (γ=80 кг/м³)

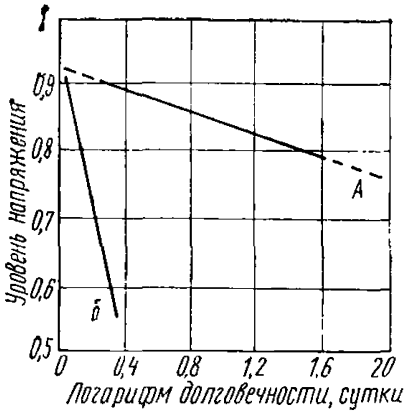


РИС. 59 ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПЕНОПЛАСТА ППУ РЕЦЕПТУРЫ ЗС В РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ

А — в условиях стандартной атмосферы; *Б* — в климатических условиях Красноярска

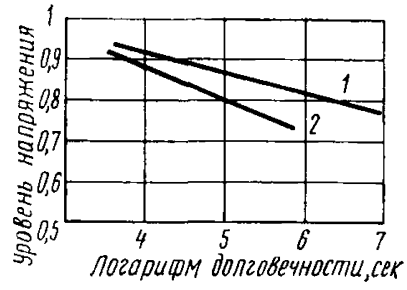


РИС 60. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПЕНОПЛАСТА ФПБ (γ=120 кг/м³)

1 — долговечность образцов материала, установленных под нагрузку непосредственно после изготовления; *2* — долговечность образцов материала, установленных под нагрузку через полгода после изготовления

7.12. Величины коэффициентов долговременного сопротивления пенопластов и сотопластов, установленные с учетом длительной прочности или ограниченной деформативности, приведены в табл. 25.

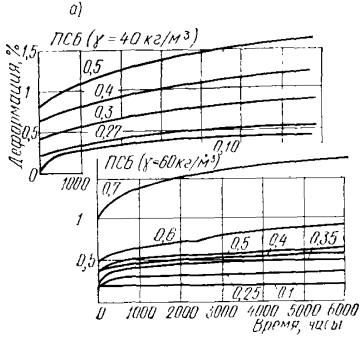
7.13. Характеристикой ползучести пенопластов и сотопластов при длительном действии нагрузок являются длительные модули упругости и сдвига (табл. 26).

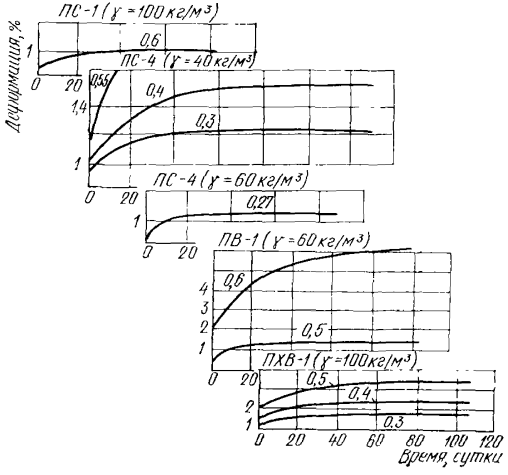
7.14. При повышенных температурах происходит не только увеличение ползучести пенопластов и сотопластов, но также и изменение характера развития деформации (рис. 64, 65).

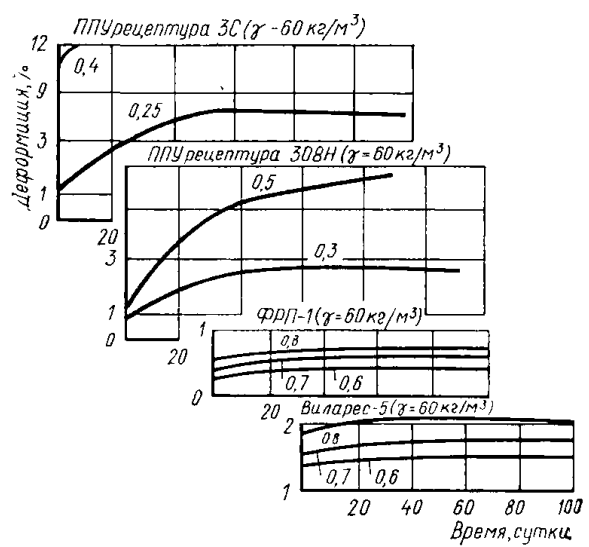
7.15. Действие повторных с периодическим «отдыхом» нагрузок на пенопласты и сотопласты является энергетически более невыгодным в отношении прочности и деформативности материалов по сравнению с воздействием постоянных нагрузок равной интенсивности.

Таблица 25

Марка пенопласта	γ, кг/м³	Обозначение характеристики	Значение коэффициента K, определенного из условия		Соотношение $K_{дл}$ при различных видах нагруженного состояния материала
			длительной прочности	ограниченной деформативности	
ПСБС	20—60	$\sigma_р$	0,6	—	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	20—60	$\sigma_с$	—	0,4	
	20—60	τ	—	0,4	
ПСБ	20—60	$\sigma_р$	0,6	—	
	20—60	$\sigma_с$	—	0,4	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	20—60	τ	—	0,4	
ПС-1	100	$\sigma_р$	0,6	—	$K_р > K_с > K_{сд}$
	100	$\sigma_с$	—	0,5	
	100	τ	—	0,4	
ПС-4	40	$\sigma_р$	—	0,4	$K_р \sim K_с \sim K_{сд}$
	40	$\sigma_с$	—	0,4	
	40	τ	—	0,4	
ФРП-1	60—80	$\sigma_р$	0,6	—	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	60—80	$\sigma_с$	—	0,4	
	60—80	τ	—	0,4	
Виларес-5	60—80	$\sigma_р$	0,6	—	
	60—80	$\sigma_с$	—	0,2	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	60—80	τ	—	0,2	
ППБ	150	$\sigma_р$	0,5	—	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	150	τ	0,6	—	
ППУ рецептуры ЗС	60	$\sigma_р$	—	0,2	$K_р \sim K_с \sim K_{сд}$
	60	$\sigma_с$	—	0,15	
	60	τ	—	0,15	
ПХВ-1	100	$\sigma_р$	—	0,45	
	100	$\sigma_с$	—	0,4	$K_р \sim K_с \sim K_{сд}$
	100	τ	—	0,4	
Сотопласт на основе крафт-бумаги	10—50	$\sigma_р$	—	0,35	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	10—50	$\sigma_с$	—	0,3	
	10—50	τ	—	0,3	
Сотопласт на основе хлопчатобумажной ткани	30—100	$\sigma_р$	—	0,35	
	30—100	$\sigma_с$	—	0,3	$K_р > K_с \sim K_{сд}$
	30—100	τ	—	0,3	


а)
ПСБ (γ = 40 кг/м³)
Деформация, %
1,5
1
0,5
0
0,5
0,4
0,3
0,27
0,10
ПСБ (γ=60кг/м³)
1000
1
0,5
0,7
0,6
0,5
0,4
0,35
0,25
0,1
0 1000 2000 3000 4000 5000 6000
Время, часы


ПС-1 (γ = 100 кг/м³)
Деформация, %
1
0,6
ПС-4 (γ = 40 кг/м³)
0
20
0,55
1,4
1
0,4
0,3
ПС-4 (γ = 60 кг/м³)
0,27
ПВ-1 (γ = 60 кг/м³)
4
3
2
1
0,6
0,5
ПХВ-1 (γ = 100 кг/м³)
0,5
0,4
0,3
0 20 40 60 80 100 120
Время, сутки



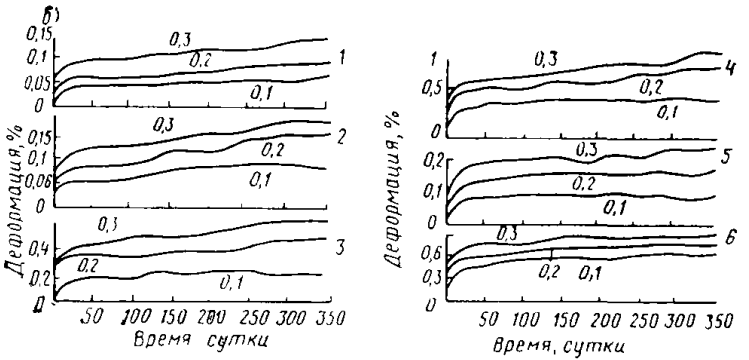


РИС. 61. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

а — пенопласты; *б* — сотопласты; *1* — на основе крафт-бумаги $a=7$ мм; *2* — на основе кабельной бумаги $a=7$ мм; *3* — то же, $a=12$ мм; *4* — то же, $a=15$ мм; *5* — на основе хлопчатобумажной ткани $a=5$ мм; *6* — то же, $a=12$ мм

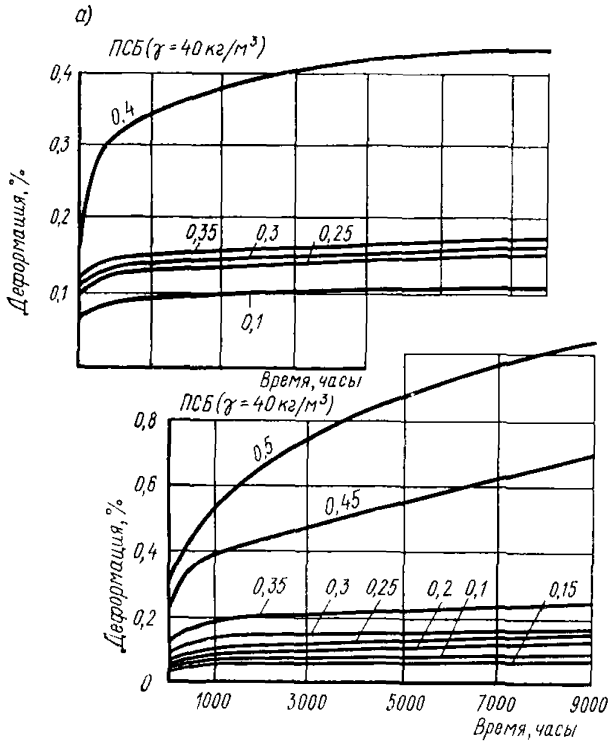
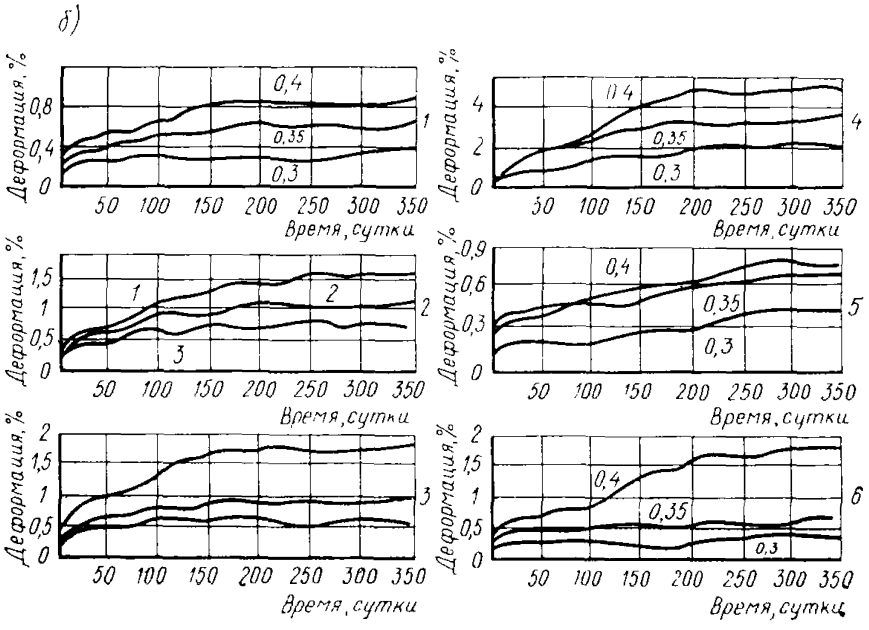
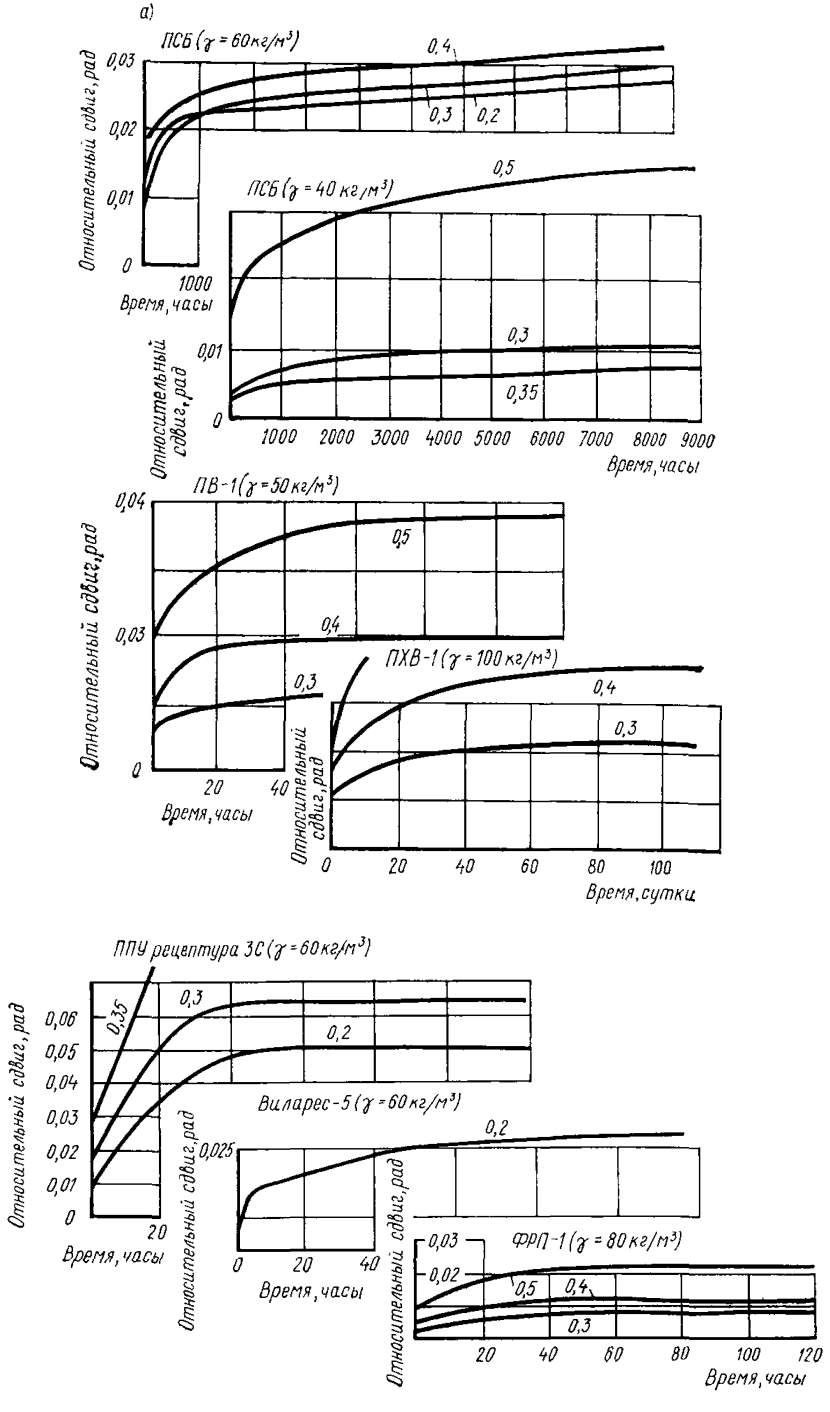


РИС. 62. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

а — пенопласты; *б* — сотопласты; *1* — на основе крафт-бумаги (a=7 мм); *2* — на основе кабельной бумаги (a=7 мм); *3* — то же, a=12 мм; *4* — то же, a=15 мм; *5* — на основе хлопчатобумажной ткани (a=5 мм); *6* — то же, a=12 мм




а)
ПСБ (γ = 60 кг/м³)
0,4
0,3
0,2
0,03
0,02
0,01
0
1000
Время, часы
Относительный сдвиг, рад
ПСБ (γ = 40 кг/м³)
0,5
0,3
0,35
0,01
0
1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000
Время, часы
ПВ-1 (γ = 50 кг/м³)
0,5
0,4
0,3
0,04
0,03
0
20
40
Время, часы
ПХВ-1 (γ = 100 кг/м³)
0,4
0,3
0 20 40 60 80 100
Время, сутки
ППУ рецептура 3С (γ = 60 кг/м³)
0,35
0,3
0,2
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
20
Время, часы
Виларес-5 (γ = 60 кг/м³)
0,2
0,025
0
20
40
Время, часы
ФРП-1 (γ = 80 кг/м³)
0,03
0,02
0,5
0,4
0,3
20 40 60 80 100 120
Время, часы

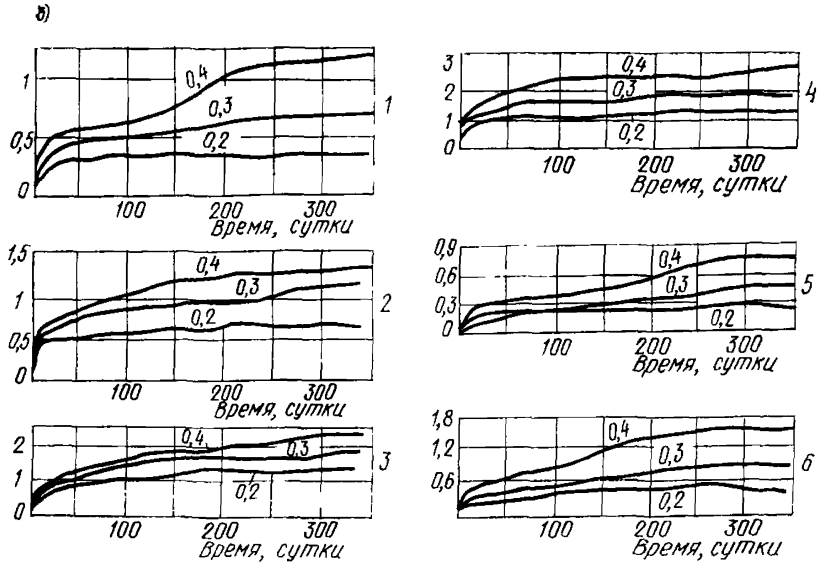


РИС. 63. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ СДВИГЕ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

а — пенопласты; *б* — сотопласты; *1* — на основе крафт-бумаги (a=7 мм); *2* — на основе кабельной бумаги (a=7 мм); *3* — то же, a=12 мм; *4* — то же, a=15 мм; *5* — на основе хлопчатобумажной ткани (a=5 мм); *6* — то же, a=12 мм

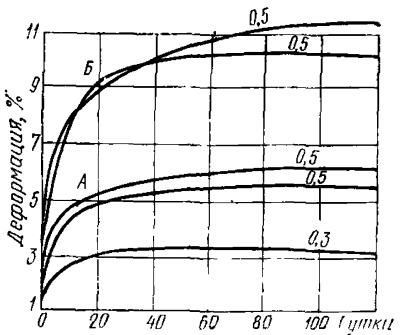


РИС. 64. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПЕНОПЛАСТА ППУ РЕЦЕПТУРЫ ЗС В РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ

А — в условиях стандартной атмосферы; *Б* — в климатических условиях Красноярска

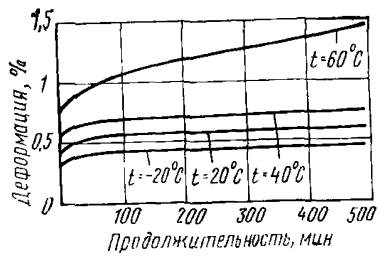


РИС. 65. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОГО ПЕНОПЛАСТА ПХВ-1 (γ=100 кг/м³) ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР (НАГРУЗКА СОСТАВЛЯЕТ 0,2 ОТ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ)

Таблица 26

Материал	γ	$E_p^{дл}$	$E_c^{дл}$	$G^{дл}$
ПСБС	20	20	20	10
	40	50	40	20
	60	90	80	50
ПСБ	20	20	20	10
	40	50	40	20
	60	90	80	50
ПС-1	100	200	200	110
ПС-4	40	60	50	40
ФРП-1	60	40	30	25
	80	100	80	35
Виларес-5	60	30	30	25
	80	80	80	35
ППБ	150	—	—	—
ППУ рецептуры ЗС	60	60	60	30
ППУ рецептуры 308Н	60	70	70	35
ПХ-1	40	80	80	50
ПХВ-1	100	200	200	110
Сотопласт на основе крафт-бумаги	30	1100	600	300
Сотопласт на основе кабельной бумаги	20	400	90	120
	25	700	200	150
	30	950	250	250
	50	1650	350	400
Сотопласт на основе хлопчатобумажной бязевой ткани	50	1400	400	300
	100	2500	1600	800
Сотопласт на основе хлопчатобумажной ткани (суровая бязь)	50	1600	650	350
	100	3200	2000	950

Примечание. Значения модулей сдвига сотопластов даны применительно к направлению, параллельному склеенным сторонам сотовых ячеек структуры материалов.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ПРИМЕР СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ПАРТИЙ ПЕНОПЛАСТОВ ПСБ и ПСБС

Марка пенопласта	Плотность, кг/м³					Прочность, кг/м³					Модуль упругости, кг/см²				
	среднее значение	дисперсия	вариационный коэффициент, %	генеральное среднее	генеральное среднее квадратическое отклонение	среднее значение	дисперсия	вариационный коэффициент, %	генеральное среднее	генеральное среднее квадратическое отклонение	среднее	дисперсия	вариационный коэффициент, %	генеральное среднее	генеральное среднее квадратическое отклонение
ПСБС	62	0,85	1,485	61,76—62,24	0,78—1,13	4,93	0,0576	4,86	4,86—4,99	0,52—0,75	5,43	1608,04	7,4	530—556	34—49
	23,3	0,81	4,04	23,17—23,43	0,82—1	1,2	0,026	15,8	1,17—1,23	0,17—0,21	101	77	8,7	99,7—102,3	8—9,78
	29	0,53	2,52	28,89—29,11	0,66—0,8	0,86	0,0064	9,3	0,85—0,86	0,07—0,08	155	32,2	3,66	154,17—155,83	5,15—6,3
	38,5	2,78	4,35	38,25—38,74	0,52—1,85	0,72	0,0169	18,01	0,7—0,73	0,12—0,14	208	305	6,25	205,44—210,56	15—19,4
	46,2	13,9	8,07	45,67—46,75	3,4—4,15	0,81	0,0196	17,3	0,78—0,83	0,12—0,15	256	256	6,25	253,66—258,34	14,5—17,8
	21,1	1,21	5,21	20,94—21,26	1—1,24	1,28	0,0085	7,2	1,26—1,29	0,08—1,02	111	16	5,4	110,41—111,59	3,64—4,45
	23,9	2,04	4,28	23,75—24,05	0,92—1,13	2,16	0,021	6,7	2,14—2,18	0,13—0,16	179	13,4	2,04	178,46—170,5	3,34—4,07
	34,2	0,81	2,53	34,06—34,35	0,81—1	1,55	0,0172	8,45	1,53—1,57	0,12—0,14	246	756,5	11,2	241,1—250,81	25—30,5
	42,2	0,56	1,78	42,09—42,31	0,68—0,83	1,69	0,0529	13,6	1,57—1,72	0,14—0,25	260	541	8,95	256,59—263,41	21,2—25
	33,6	3,31	5,42	33,13—34,07	1,54—2,22	0,92	0,0392	21,6	0,87—0,97	0,16—0,24	259	67,24	3,16	256,88—261,12	6,95—10
	36,4	5,07	6,19	35,81—36,99	1,91—2,75	1,44	0,0239	11,7	1,39—1,48	0,15—0,21	229	432,64	9,1	223,6—234,6	17,65—25,4
	31,8	1,96	4,4	31,48—32,1	1,23—1,65	1,25	0,0144	9,6	1,24—1,25	0,1—0,14	226	655	11,6	220,3—231,7	21,7—31
	20,7	0,49	2,69	19,54—20,85	0,6—0,83	1,3	0,0144	9,25	1,27—1,32	0,1—0,14	110	285	15,35	110,2—113,78	14,35—20
	31,5	10,05	10,08	31,03—31,96	2,89—3,53	2,6	0,22	17,9	2,53—2,67	0,42—0,52	—	—	—	—	—
ПСБ	21,2	4,31	9,32	20,87—21,53	1,89—2,31	1,34	0,0385	14,7	1,31—1,37	0,18—0,22	149	590	16,4	145,8—152,3	22,2—26,95
	32,8	3,55	5,75	32,52—33,1	1,72—2,09	2,34	0,1044	16,3	2,28—2,39	0,34—0,42	213	1750	19,73	206,9—219,2	38,3—46,5
	50,3	26	10,1	49,55—51,05	4,65—5,65	3,52	0,435	18,75	3,44—3,6	0,6—0,73	332	3856,41	18,65	322,2—339,7	56,5—68,7
	19,4	0,53	3,76	19,29—19,51	0,66—0,81	1,21	0,0196	11,5	1,19—1,23	0,13—0,15	175	784	16	170,9—179,1	25,4—31,1
	34,2	17,64	0,12	33,52—34,82	3,82—4,65	1,64	0,12	21	1,59—1,69	0,31—0,38	206	961	15,1	201,45—210,55	28,2—34,4
	61,5	24,5	3,05	60,78—62,23	4,5—5,5	3,37	0,1936	13,1	3,3—3,43	0,4—0,48	468	1200	7,4	462,9—473,1	31,4—38,5
	19	0,45	3,52	18,9—19,09	0,61—0,74	1,34	0,016	9,7	1,32—1,36	0,12—0,14	92	218	16,1	89,83—94,17	13,5—16,4
	28,9	5,9	8,4	27,54—29,26	2,21—2,74	1,83	0,576	13,1	1,79—1,86	0,22—0,26	169	334,8	10,8	166,32—171,68	16,65—20,1
	40,4	3,8	4,83	40,1—40,68	1,77—2,16	1,76	0,0324	10,4	1,73—1,78	0,16—0,2	362	1681	11,4	356—368	37,4—45,5
	13	7,1	20,5	12,61—13,4	2,43—2,96	0,58	0,011	18,1	0,56—0,59	0,09—0,11	74	38,44	8,4	73,1—74,91	5,65—6,73
	33,3	21,8	1,41	32,62—33,98	4,26—5,18	0,39	0,27	21,8	2,31—2,46	0,47—0,57	206	2959,4	26,5	197,05—213,95	49,5—59,8
	47,3	8,8	6,28	46,86—47,74	2,7—3,3	4,12	0,0529	5,58	4,12—4,13	0,21—0,25	386	119	8,95	380,5—391,05	31,4—38,3

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА НОВЫЕ МАРКИ ПЕНОПЛАСТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Настоящие требования распространяются на пенопласты, предназначенные для применения в качестве заполнителей легких слоистых строительных конструкций. Пенопластовые заполнители конструкций наряду с тепло-, звукоизоляционными могут выполнять также и конструктивные функции.

2. Применение пенопластов в конструкциях ведется в соответствии с «Рекомендациями по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс».

3. Использование требований предусматривается при совершенствовании технологических методов вырабатываемых ныне пенопластов, при разработке новых марок этих материалов строительного назначения с повышенными эксплуатационными характеристиками для строительных конструкций различного назначения, а также при разработке нормативной документации.

4. В зависимости от вида полимерной основы строительные пенопласты подразделяются на полистирольные, фенолоформальдегидные, полиуретановые, карбамидные и поливинилхлоридные. Возможно изготовление пенопластов на основе совмещенных композиций, а также с минеральными наполнителями.

5. Объемная масса пенопластов строительного назначения составляет 10+200 кг/м^3. В зависимости от вида полимерной основы объемный вес (в кг/м^3) марок пенопластов равняется: фенолоформальдегидных — 40, 60, 80 и 100; полиуретановых — 40 и 60; полистирольных — 20, 40 и 60; поливинилхлоридных — 60 и карбамидных — 10—20. Объемная масса пенопластов, содержащих минеральные и другие наполнители, не должна превышать 200 мг/м^3.

Допустимые отклонения в объемной массе плит и блоков пенопласта данной марки не должны превышать ±10% от номинальной объемной массы партии материала.

6. Требования к внешнему виду, поверхности, влажности и размерам плит и блоков пенопластов либо принимаются в соответствии с действующими нормативными документами, либо для новых марок этих материалов должны устанавливаться.

7. Пенопласты могут изготавливаться как в отдельных формах, так и в полости конструкций. Технологические процессы должны поддаваться механизации и автоматизации.

Изготовление пенопластовых заполнителей ведется двумя способами: либо путем вспенивания исходных композиций или полуфабрикатов в полости конструкций, либо путем сборки плит в блок.

8. Исходные материалы, применяемые для изготовления пенопластов, должны отвечать требованиям действующих или вновь разрабатываемых ГОСТов, МРТУ, ТУ и других нормативных документов.

9. По физико-механическим показателям пенопласты должны соответствовать требованиям, указанным в таблице. Требования по физико-механическим показателям наполненных пенопластов должны соответствовать приведенным в таблице с учетом некоторого повышения объемной массы материала. Требования по физико-механическим показателям пенопластов, изготовленных на основе совмещенных композиций, должны разрабатываться.

Характеристика	Пенопласты										
	фенолоформальдегидные				полиуретановые		полистирольные			поливинилхлоридные	карбамидные
	с объемной массой, кг/м³										
	40	60	80	100	40	60	20	40	60	60	10—20
Предел прочности при растяжении, кгс/см², не менее	0,6	1,2	2	3	4	6,5	1	2,5	4	8	—
Предел прочности при сжатии, кгс/см², не менее	1,1	2,5	3,6	5	2,5	4,5	1	2,5	4	4,5	0,3
Предел прочности при сдвиге, кгс/см², не менее	0,5	1,1	1,7	2,7	2	3,2	0,8	1,8	3,2	3	—
Модуль упругости при растяжении, кгс/см², не менее	40	80	150	220	150	300	60	150	250	400	—
Модуль упругости при сжатии, кгс/см², не менее	90	170	200	450	100	200	50	110	180	300	—
Модуль сдвига, кгс/см², не менее	30	60	100	150	80	100	30	70	120	100	—
Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·град, не более	0,03	0,035	0,04	0,042	0,030	0,032	0,028	0,030	0,035	0,035	0,027
Рабочая температура, °С	От —60 до +150				От —60 до +120		От —60 до +85			От —60 до +85	От —60 до +85
Линейная усадка при 80° С за 24 ч (в %), не более	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2
Водопоглощение за 24 ч в % (по объему), не более	2	1,3	0,5	0,3	1	0,8	2	0,9	0,5	0,8	7

10. В целях проверки соответствия качества разработанных пенопластов настоящим требованиям необходимо проводить комплексные физико-механические испытания этих материалов в соответствии с «Руководством по физико-механическим испытаниям строительных пенопластов».

11. По возгораемости пенопласты должны относиться к категории трудносгораемых.

12. Выделение вредных химических веществ пенопластами в процессе эксплуатации и при горении (на пожаре) не должно превышать требований санитарных норм.

13. Пенопласты не должны оказывать корродирующее действие на другие элементы конструкций.

14. Прочность клеевых соединений пенопластов с другими материалами должна превышать прочностные характеристики самих пенопластов.

15. При применении в легких конструкциях пенопластовые заполнители должны обеспечивать надежную работу ограждений.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА НОВЫЕ МАРКИ СОТОПЛАСТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Настоящие требования распространяются на сотопласты с шестигранной формой сотовых ячеек строительного назначения для применения в качестве конструктивных заполнителей легких слоистых конструкций.

2. Применение сотопласта в конструкциях ведется в соответствии с «Рекомендациями по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс».

3. Использование требований предусматривается при совершенствовании технологических методов вырабатываемых ныне сотопластов для разработки новых марок этих материалов с повышенными эксплуатационными показателями для строительных конструкций различного назначения, а также при разработке нормативной документации.

4. В зависимости от вида основы сотопласты подразделяются на бумажные и тканевые.

Основой бумажных сотопластов являются изоляционно-пропиточная, крафт-бумага, кабельная, битуминизированная, оберточная и др. сорта бумаг, обработанные фенольными, карбамидными и другими полимерными композициями.

Основой тканевых сотопластов являются хлопчатобумажные ткани, обработанные фенольными и другими композициями.

5. Размер стороны сотовой ячейки сотопластов: 5, 7, 12, 15, 18, 24 и 36 мм.

Допускаемые отклонения в объемной массе блоков сотопласта данной марки не должны превышать $\pm 10\%$ от номинальной объемной массы партии материала.

6. Требования к внешнему виду, наружной поверхности, размерам блоков сотопластов принимаются либо по действующим нормативным документам, либо для новых марок этих материалов должны быть установлены.

7. Технологические процессы изготовления сотопластов должны поддаваться механизации и автоматизации

Характеристика	Сотопласты на основе														
	крафт-бумаги, обработанной карбамидными, фенолоформальдегидными и другими композициями					кабельной, битуминизированной бумаг, обработанных карбамидными, фенольными и другими композициями					хлопчатобумажной, бязевой тканей, обработанных фенольными и другими композициями				
	с размером сторон сотовой ячейки, мм														
	7	12	15	18	24	7	12	15	18	24	5	12	15	18	24
Предел прочности при растяжении, кгс/см², не менее	5	3	2,4	2	1,5	9,5	7	5,5	4,5	3	25	12	8	6	4
Предел прочности при сжатии, кгс/см², не менее	4	2,4	1,8	1,4	0,8	5	2,8	2	1,5	1	45	12	7	5	3
Предел прочности при сдвиге*, кгс/см², не менее	1,4	1	0,8	0,6	0,3	2	1,2	0,7	0,5	0,3	8	4	3	2	1,5
Модуль упругости при растяжении, кгс/см², не менее	1400	800	500	350	150	2000	1200	850	550	400	3200	1800	1400	1100	800
Модуль упругости при сжатии, кгс/см², не менее	800	300	200	150	120	1100	450	300	150	100	2300	600	400	300	200
Модуль сдвига*, кгс/см², не менее	350	200	170	130	100	800	300	150	80	70	1000	400	350	300	200
Термическое** сопротивление, град·ч·м²/ккал, не более															

* *При испытании образцов сотопластов в направлении, параллельном склеенным сторонам сотовых ячеек.*
** При перепаде температуры по высоте сотовых ячеек в 10° С.

Изготовление сотопластовых заполнителей ведется путем механической обработки сотопластовых блоков и их склеивания. Для повышения теплоизоляционных свойств сотопластового среднего слоя конструкций целесообразно заполнение сотопласта пенопластом низкой объемной массы (10—25 кг/м³).

8. Исходные материалы, применяемые для изготовления сотопластов, должны отвечать требованиям действующих и вновь разрабатываемых ГОСТов, МРТУ, ТУ и других нормативных документов.

9. По физико-механическим показателям сотопласты должны соответствовать требованиям, указанным в таблице. Требования на физико-механические показатели полимерных сотопластов должны быть разработаны.

10. В целях проверки соответствия качества разработанных сотопластов настоящим требованиям необходимо проводить комплексные физико-механические испытания этих материалов в соответствии с «Руководством по физико-механическим испытаниям строительных сотопластов».

11. При 30%-ном сжатии в направлении поперек сотовых ячеек образцы бумажного сотопласта не должны разрушаться.

12. Линейная усадка в направлении поперек сотовых ячеек сотопластов при температуре 80° С за 24 ч не должна превышать 0,2%.

13. Водопоглощение за 24 ч не должно превышать 2% (по объему).

14. По возгораемости сотопласты должны относиться к категории трудносгораемых материалов.

15. Выделение вредных химических веществ сотопластами в процессе эксплуатации и при горении (на пожаре) не должно превышать требований санитарных норм.

16. Прочность клеевых соединений сотопластов с другими материалами должна превышать прочностные характеристики самих сотопластов.

17. При применении в легких конструкциях сотопластовые заполнители должны обеспечивать надежную работу ограждений.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Объемная масса	— γ, кг/м^3
Плотность полимерной основы	— $\gamma_о$, кг/м^3
Плотность газовой фазы	— $\gamma_г$, кг/м^3
Диаметр ячеек структуры	— d, мм
Ширина стороны ячейки	— a, мм
Усредненная толщина стенок ячеек	— $\delta_{ср}$, мм
Толщина стержневых элементов ячеек	— $\delta_{ст}$, мм
Толщина пленочных элементов ячеек	— $\delta_{пл}$, мм
Толщина одинарных стенок ячеек	— δ_1, мм
Толщина сдвоенных стенок ячеек	— δ_2, мм
Расстояние между параллельными сторонами ячеек	— S, мм
Эффективная площадь ячейки	— F, мм^2
Длина стержневого элемента ячейки	— l, мм
Давление газовой фазы в ячейке	— P_0, атм
Содержание открытых ячеек в структуре	— v_1, %
Содержание закрытых ячеек в структуре	— v_2, %
Содержание полимерной фазы в структуре	— v_3, %
Пористость	— $П$, %
Усадочная деформация (за 24 ч)	— Δ, %
Коэффициент теплового линейного расширения	— α, 1/град$\times 10^{-6}$
Коэффициент теплопроводности	— λ, ккал/м·ч·град
Удельная теплоемкость	— C, ккал/м·ч·град
Рабочая температура	— $T_р$, °С
Влагопоглощение	— φ, % по объему
Водопоглощение	— W, % по объему
Влажностная деформация	— ε_w, %
Коэффициент паропроницаемости	— $K_п$, г/м·ч·мм рт. ст.
Группа возгораемости	— $Г$
Предел прочности при растяжении	— $\sigma_р$, кгс/см^2
Предел прочности при сжатии	— $\sigma_с$, кгс/см^2
Предел прочности при сдвиге	— τ, кгс/см^2
Предел прочности при растяжении полимерной основы	— $\sigma_о$, кгс/см^2
Модуль упругости при растяжении	— $E_р$, кгс/см^2
Модуль упругости при сжатии	— $E_с$, кгс/см^2
Модуль сдвига	— G, кгс/см^2
Разрывное удлинение	— $\varepsilon_р$, %
Коэффициент поперечных деформаций	— μ
Коэффициенты долговременного сопротивления при растяжении, сжатии и сдвиге	— $K_р$, $K_с$, $K_{сд}$
Длительный модуль упругости при растяжении	— $E_р^{дл}$, кгс/см^2
Длительный модуль упругости при сжатии	— $E_с^{дл}$, кгс/см^2
Длительный модуль сдвига	— $G^{дл}$, кгс/см^2

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Общие положения 3
2. Структурные характеристики 13
3. Теплофизические характеристики 19
4. Влагосорбционные и коррозионные характеристики . . . 26
5. Прочностные и упругие характеристики 32
6. Эксплуатационные характеристики 50
7. Характеристики долговечности, длительной прочности и ползучести 62

Приложение I. Пример статистической обработки результатов кратковременных испытаний различных партий пенопластов ПСБ и ПСБС 72

Приложение II. Технические требования на новые марки пенопластов для строительных конструкций различного назначения 73

Приложение III. Технические требования на новые марки сотопластов для строительных конструкций различного назначения 75

Приложение IV. Принятые обозначения 78

ЦНИИСК им. Кучеренко

ПОСОБИЕ ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ И СОТОПЛАСТОВ

Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор В. В. Петрова
Мл. редактор С. А. Зудилина
Технические редакторы Г. В. Климушкина, И. В. Панова
Корректоры Г. Г. Морозовская, М. Ф. Казакова

Сдано в набор 18/III 1977 г. Подписано к печати 19/V 1977 г. Т-11213. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 3. 4,2 усл. печ. л. (уч.-изд. 5,01 л.). Тираж 16 000 экз. Изд. № XII—7026. Зак. № 76. Цена 25 коп.

Стройиздат, 103006, Москва, Каляевская, 23а
Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600610, г. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

gost.e-ecolog.ru