

Глава 1. Разработка композиций

Эдвард Дж. Виксон, Ричард Ф. Гроссман

1.1. Введение

Поливинилхлорид (ПВХ, «винил» — часто употребляемое название в торгово-производственной сфере) стал значимым материалом в промышленном производстве гибких изделий после Второй мировой войны, заменив каучук, кожу и целлюлозные материалы во многих областях. По мере развития технологии переработки непластифицированный (жесткий) ПВХ начал активно вытеснять металл, стекло и древесину. Признание ПВХ основано на его благоприятном соотношении «цена—качество». При надлежащей разработке композиции можно получить большой набор полезных свойств при низкой стоимости — погодостойкость, инертность ко многим средам, присущая ему стойкость к воздействию пламени и микроорганизмов.

ПВХ является термопластом, свойства которого очень сильно зависят от состава композиции. Содержание наполнителя колеблется от нескольких частей на 100 частей полимера, как например, в напорной трубе, в то время как в напольной плитке, полученной каландрованием, — до сотен частей на 100 частей ПВХ. Последнюю естественно считать, что она состоит больше из наполнителя, чем из ПВХ. Мягкие композиции обычно содержат до 70 частей пластификатора на 100 частей полимера. ПВХ композиции всегда содержат термостабилизаторы и смазки (или ингредиенты, сочетающие в себе оба свойства). Они могут содержать наполнители, пластификаторы, красители, антиоксиданты, биоциды, огнезащитные добавки, антистатик, модификаторы ударопрочности и перерабатываемости, а также другие ингредиенты, включая другие полимеры. Таким образом, разработка композиций — процесс непростой. Цель данной книги — сделать его проще для понимания и осуществления.

1.2. Влияние состава на переработку

Цель разработчика композиции состоит в том, чтобы получить такой материал, который при удовлетворительной переработке имел бы приемлемые свойства, близ-

кие к ожидаемым. Все это должно быть сделано в рамках определенных ценовых параметров. Поэтому на практике целью является разработка наилучшей композиции с точки зрения стоимости и конкретных свойств. Таковую разработку следует считать рациональной. Альтернативой этому может быть разработка самого дешевого материала, который может быть переработан с трудом, или едва удовлетворит требованиям заказчика и условиям эксплуатации. Такая альтернатива, как правило, создает больше проблем, чем их решает. Хотя эта книга адресована главным образом разработчику рациональных композиций, можно надеяться, что и стесненные в расходах специалисты смогут найти много полезного для себя.

Надо иметь в виду, что композиция, которая оптимальна в этом году, может не оказаться таковой в следующем. Даже если она оптимальна на одном предприятии, на такой же технологической линии, она может быть не столь оптимальной на другой. Пригодность ПВХ для различных способов переработки в значительной степени определяется знаниями и опытом инженера-технолога. Композиции на основе ПВХ перерабатывают каландрованием, экструзией, литьем под давлением, их можно наносить в виде покрытий. Переработка всегда начинается со стадии смешения, на которой смешивают добавки и ПВХ. В результате получается сухая (или не очень сухая) смесь, пластизоль, органоэоль, смешанный латекс или раствор. За стадией смешения следуют пластикация и сплавление на стадии производства изделия (как правило, в случае жесткого ПВХ) или на отдельной стадии гранулирования, предшествующей производству конечного продукта. Стадия гранулирования является обычным процессом для пластифицированного (гибкого) ПВХ, особенно если гранулят должен быть перевезен в другое место, например, на предприятие заказчика.

От скорости сухого смешения может зависеть конечная производительность. Хотя на скорость смешения могут влиять различные ингредиенты, в первую очередь она зависит от типа ПВХ и конкретного пластификатора. Определенные типы ПВХ специально разработаны для быстрого поглощения пластификатора. Тип пластификатора (его полярность), вязкость и растворяющая способность являются ключевыми факторами. Однако их, как правило, подбирают с точки зрения достижения требуемых свойств композиции, а не из-за легкости поглощения. Иногда, для того, чтобы подобрать необходимый состав применяют такие действия, как предварительный нагрев пластификатора или определенный порядок добавления ингредиентов. Сухое смешение и смешение растворов ПВХ, латексов, пластизолов и органоэолов рассмотрены в соответствующих главах этой книги.

Режим переработки через расплав жестких и мягких композиций в основном зависит от типа ПВХ. Примерами легкоплавких смол являются гомополимеры с низким молекулярным весом (низкое значение K_{ϕ}) и сополимеры с винилацетатом. Пластификаторы, обладающие высокой сольватирующей способностью, такие как бутил бензил фталат (ББФ), повышают скорость пластикации. Следует подчеркнуть, что выбор как типа ПВХ, так и пластификатора диктуется областью применения материала, в то время как другие ингредиенты, в частности, смазки, стабилизаторы и модификаторы перерабатываемости подбирают для увеличения скорости переработки. В крупномасштабных производствах композиций на основе жесткого

ПВХ для производства таких изделий как трубы, сайдинг и оконные профили используется непосредственно сухая смесь. Определенные виды применения гибкого ПВХ, например экструзия изоляции проводов, также зачастую основаны на сухой смеси. Однако наиболее пластифицированные композиции производят путем смешения через расплав в смесителе закрытого типа с последующим гранулированием в экструдере или с помощью комбинации двух экструдеров, совмещающих функции смесителя и гранулятора. При переработке расплава вязкость и сила трения о металлические поверхности являются не только очевидными факторами, необходимыми для плавления и гранулирования, но они также ограничивают производительность, являются причинами износа оборудования и возможными источниками деструкции ПВХ. Это, конечно, относится к переработке при изготовлении не только гранул, но и конкретных изделий. Все вышесказанное в значительной степени зависит от рецептуры и выбора оборудования. Можно допустить два крайних сценария организации производства композиций:

1. Разрабатывается оптимальная композиция с наилучшим соотношением «цена–качество». Затем устанавливается оборудование для переработки, позволяющее достигать наибольшей производительности и наилучшего качества. При расширении производства устанавливается такое же оборудование. Такой план действий применяется в случае крупнотоннажных производств жестких композиций ПВХ и лежит в основе быстрого роста этого сектора в Северной Америке. Как следствие, разработки новых и улучшенных продуктов подталкивают к кооперации поставщиков оборудования и ингредиентов.

2. Разработка рецептур продолжается, зачастую бесконечно, чтобы создать композицию, которая удовлетворяла бы требованиям после переработки на грани возможностей оборудования, которое оказалось под рукой или купленного за минимальную цену. Это типичный случай в производстве некоторых мягких композиций. Такой подход является основной причиной того, что некоторые участники рынка не выдерживают конкуренции с иностранными производителями и причиной замены пластифицированного ПВХ более новыми материалами, например, термоэластопластами.

1.3. Влияние состава на свойства

В непластифицированных композициях жесткость (прочность на изгиб) возрастает с увеличением молекулярной массы (ММ). Вплоть до какой-то концентрации наполнителя добавление его повышает прочность на изгиб, в то время как увеличение содержания модификаторов ударопрочности и перерабатываемости имеют тенденцию вызывать понижение прочности пока они не начинают работать как добавки, повышающие температуру коробления при нагревании.

С другой стороны, прочность на растяжение имеет тенденцию к запределиванию с возрастанием ММ, хотя модуль при малых деформациях идет параллельно прочности на изгиб. Прочность на истирание и ползучесть возрастают с повышением

ММ, что характерно для пластиков. Добавление наполнителя способно повышать оба свойства до тех пор, пока размер и форма частиц способствуют созданию пространственной структуры в материале.

Химическая стойкость, маслостойкость, сопротивление тепловому короблению увеличиваются, в то время как производительность и легкость переработки понижаются с возрастанием ММ. В соответствии с этим при разработке композиций, основанных на высокомолекулярном полимере, используют добавки, которые повышают текучесть, а также добавки, компенсирующие недостатки низкомолекулярного полимера. Другими словами, главное назначение добавок — это исправление проблем, вызванных другими добавками.¹

Композиции, содержащие около 25 частей «хорошего» пластификатора на 100 частей ПВХ такого как ди(2-этил)гексилфталат рассматриваются как полужесткие (100% модуль упругости при растяжении — около 23 МПа). Значение модуля при малом растяжении является приемлемой характеристикой гибкости пластифицированного ПВХ. Он несколько возрастает с увеличением молекулярной массы и сильно уменьшается при увеличении содержания пластификатора. Так при содержании 35 частей ДОФ (или пластификатора со сравнимой активностью) на 100 частей ПВХ материал рассматривается как гибкий. При 50 частей ДОФ модуль при растяжении падает приблизительно до 12 МПа, а при 85 частей ДОФ на 100 ПВХ — до порядка 4 МПа, что говорит о чрезвычайной гибкости материала. Менее эффективные пластификаторы необходимо использовать при более высоких концентрациях. В пластифицированных композициях прочность при растяжении возрастает более или менее линейно с увеличением молекулярной массы полимера. Зависимость прочности от типа пластификатора и его содержания более сильная. Прочность при растяжении и относительное удлинение часто, но не всегда снижаются с увеличением содержания наполнителя. Прочность на раздир улучшается с увеличением ММ, также как и стойкость к истиранию, но эти свойства зависят от влияния добавок. Сополимеризация с винилацетатом приводит к тем же эффектам, что и добавление пластификатора, но, обычно, при большей стоимости.

Главными факторами, влияющими на хрупкость и гибкость при низкой температуре, являются тип пластификатора и его содержание. Композиции, предназначенные для низких температур, часто содержат смесь пластификаторов, один из которых, например, ди(2-этил)гексилдипат (ДОА). Пластификация обычно понижает химическую стойкость, стойкость к растворителям и маслостойкость. Этому может быть противопоставлено использование полимерных пластификаторов, что сопровождается закономерным увеличением стоимости и усложнением переработки, или посредством применения смесей и сплавов с маслостойкими полимерами, например, с бутадиен-нитрильным каучуком (БНК).

Одно из важнейших применений пластифицированного ПВХ — это изоляция проводов. Выбор пластификатора зависит от условий службы изделия. Пластификатор должен иметь малую летучесть при тепловом старении. Потеря пластификатора является главной причиной уменьшения удлинения после теплового старения. Для применения в сухих условиях в композиции вводят наполнитель карбонат кальция

(CaCO₃). Содержание варьируется балансом между ценой материала и его свойствами. Изоляционные материалы для эксплуатации во влажных условиях (например, в Северной Америке) должны иметь стабильное объемное сопротивление в течение 6 месяцев пребывания в воде при температуре 75 или 90 °С. Такие материалы вместо карбоната кальция содержат электротехнические сорта кальцинированного (прокаленного) каолина. Для такого применения изоляционного материала пластификатор и другие компоненты должны быть также электротехнического качества.

По огнестойкости пластифицированные композиции ПВХ различаются от медленно горящих, когда используются воспламеняющиеся пластификаторы, до самозатухающих содержащих: оксид сурьмы, действие которого синергически усиливается галогеном, огнезащитные пластификаторы и водосодержащие наполнители, такие как тригидрат алюминия или гидроксид магния. Хотя водосодержащие наполнители и увеличивают термостабильность, при использовании огнестойких пластификаторов необходимо увеличивать содержание стабилизаторов. Водосодержащие наполнители понижают также дымообразование, промотируя окисление горячих частиц сажи. Считается, что эта реакция идет через металлокарбонильные промежуточные соединения и катализируется соединениями металлов, образующих карбонилы. Чаще всего используется молибден в форме октамолибдата аммония (ОМА), который реагирует при нужных температурах. Огнестойкость возрастает, а дымообразование снижается с помощью наполнителей, способствующих образованию теплопроводных спекшихся частиц кокса в процессе горения. Имеются в виду водосодержащие наполнители и определенные соединения цинка, в особенности борат цинка, а также гидроксид олова. Использование соединений цинка обычно требует более высоких концентраций стабилизаторов. В случае с оксидом олова это не так, но его использование повышает дымообразование. Поэтому, разработка сверхогнестойкого гибкого материала на основе ПВХ требует комплексного подбора ингредиентов. Суммарный баланс физических и огнестойких свойств пластифицированного материала на основе ПВХ намного лучше такового у полиолефиновых аналогов, не содержащих галогена. Эти аналоги обычно столь перегружены водосодержащими наполнителями, что полимер является не более чем связующим.

Вспененные материалы на основе жесткого ПВХ, состоящие из двух наружных твердых слоев и вспененного внутреннего слоя, стали повсеместно применяться в трубах, сайдингах и пластиковых досках. Кроме сокращения веса и снижения стоимости уменьшается теплопроводность винилового сайдинга, а пластиковые доски легче прибываются и распиливаются. Изделия из вспененного мягкого ПВХ чаще всего получают из пластизолой, например, для винилового линолеума. При этом вспенивание пластизоля может быть достигнуто механически, внедряя воздух в пасту путем интенсивного перемешивания, так и химическим путем с помощью вспенивающих агентов (пенообразователей), чаще всего азодикарбонамида. Последний легко активируется некоторыми добавками, часто являющимися компонентами термостабилизатора, известных в таких случаях под названием «кикеры». Поверхностно-активные вещества используются для улучшения качества ячеистой структуры, которое зависит также от выбора полимера и пластификатора.

Свето-и погодостойкость обеспечиваются несколькими способами. Наружный слой (верхнее покрытие) винилового сайдинга или оконного профиля должен содержать достаточное количество диоксида титана (TiO_2) высокого качества. Его высокая диэлектрическая постоянная обеспечивает поглощение кванта света и рассеяние энергии в виде тепла, после чего излучается квант с низкой энергией. Это ограничивает объем, в котором падающий свет способен инициировать цепную реакцию свободнорадикального окисления. Сажа соответствующего типа обладает тем же эффектом и широко используется в кабельных оболочках и сельскохозяйственных покрытиях. Конечно, полезно иметь материалы не только белого цвета, но, например черного или серого. Для окраски виниловых сайдингов используют TiO_2 и различные пигменты. Другой способ получения окрашенного сайдинга – нанесение светостойких покрытий, таких как акриловые или поливинилдифторид (ПВДФ) на поверхность ПВХ. Акриловые покрытия используются также с ПВХ пластизолями, содержащими полиэферы, для повышения способности к нанесению печати, уменьшению миграции пластификатора и повышению светостойкости. Для получения ярко окрашенных продуктов добавляют органические поглотители ультрафиолетового света (УФ). Аналогично ведет себя сажа и TiO_2 . Поглощается квант света, переводя УФ-абсорбер в возбужденное состояние. Энергия достаточно медленно рассеивается в виде тепла, не наносящего вреда материалу. Такие светоабсорберы, как гидроксibenзофеноны и бензотриазолы, не являются антиоксидантами, в действительности, они сами требуют защиты против окисления. Относительно новый класс материалов, светостабилизаторы – затрудненные амины (HALS)*, не являются только антиоксидантами, но участвуют в цепных реакциях антиоксидантов. Их использование в ПВХ сейчас на стадии исследования.

Погодостойкость композиций на основе ПВХ изучена на множестве приборов, имитирующих солнечный свет. Есть только относительная корреляция между этими методами и настоящими погодными испытаниями. Влияние натурной экспозиции различно для различных местностей. Считается, что ускоренное светостарение приводит к большому разбросу результатов. Тем не менее, эти методы полезны для сравнения одной композиции с другой и зачастую считается, что результаты являются предсказуемыми относительно полевых испытаний. Кроме того, пластифицированные композиции во влажных полевых условиях подвергаются микробному воздействию. Поскольку часто невозможно предсказать условия эксплуатации, то в пластифицированные композиции обычно вводят биоциды.

В реальных условиях смешения макрочастиц и низкомолекулярных ингредиентов вопреки энтропийному фактору гомогенного смешения компонентов не происходит. *В турбулентном потоке зачастую расслоение более предпочтительно, чем гомогенизация.* Отклонение от ламинарного течения при переработке может вызвать частичное расслоение композиции, что приводит к выделению ингредиентов на поверхности оборудования и накоплению их на сите экструдера. Степень разделения смеси (фазовая нестабильность) является функцией плотности компонента. Поэтому первым ингредиентом, который обнаруживается на сите, является свинцовый

* HALS – hindered amine light stabilizers.

стабилизатор или продукт его реакции, диоксид титана, цинковый или бариевый стабилизаторы. Следует подчеркнуть, что турбулентность, кроме отрицательного действия (разделения композиции) приводит и к положительному эффекту — разрушению агломератов (диспергированию наполнителя). Однако турбулентность, с точки зрения достижения лучшего качества продукта в процессе производства необходимо свести к минимуму.

Важное обстоятельство, которое необходимо принимать во внимание разработчику композиций, — будут ли компоненты оставаться неизменными в течение срока службы изделия. Например, поверхностное окисление сайдинга или профиля может вызвать их ожестчение из-за поперечной сшивки. В результате возросшего по указанной причине поверхностного модуля упругости уменьшается совместимость ингредиентов, ведущая к выделению на поверхности изделия белого налета, состоящего из наиболее плотных компонентов, например, TiO_2 . Выделение на поверхности пластификатора из пластифицированного ПВХ может быть крайне нежелательным, если он контактирует с другим полимером, например, полистиролом, который будет растворяться или набухать в пластификаторе. Миграция пластификатора на поверхность будет нежелательна и в случае контакта поверхности изделия с клеем, чувствительным к давлению. Миграцию можно минимизировать посредством составления композиции с полимерными пластификаторами, как в случае уплотнителей для холодильников или применением композиций с БНК или из сплава сополимера этилена с винилацетатом (ЭВА). Пластификатор может выносить на поверхность и другие компоненты рецептуры, которые могут добавить свой запах к запаху от упаковочной пленки или деталей холодильника. Иногда миграция пластификатора на поверхность полезна, как в случае с самоочищающимися напольными покрытиями, для которых пластификатор выбирается таким образом, чтобы иметь слабую тенденцию к миграции на поверхность, ограничивая проникновение и облегчая удаление маслянистых загрязнений.

Миграция пластификатора вызывает также беспокойство при использовании пластифицированной пленки ПВХ для упаковки медикаментов и продуктов питания. Несмотря на миграцию ДОФ в медицинских приборах и ДОФ и ДОА в упаковке продуктов, они широко используются, поскольку длительная история безопасного их применения, низкая цена и большие затраты на сертификацию сработали против предложений более подходящих пластификаторов.

Вот некоторые из наиболее распространенных вопросов, с которыми сталкиваются при предложении нового или улучшенного ингредиента:

- Будет ли его использование экономически оправдано?
- Могут ли быть гарантированы долгосрочные эксплуатационные характеристики?
- Можно ли быть уверенным в получении сертификата?

Последний из них является напоминанием о том, что эффективная разработка композиций не может быть произведена из «вакуума». Должны быть и сотрудничество, и обмен информацией между всеми подразделениями предполагаемого поставщика новой добавки.

Вышеприведенные упрощенные обобщения будут подробно рассмотрены в следующих главах.

1.4. Процедура разработки композиций

Если предполагаемое применение новое, то, помня о возможном получении патента, необходимо убедиться, чтобы сохранились запротоколированные записи, относящиеся к разработке композиции и к испытаниям. Если в данной области существуют сходные продукты, то должны быть учтены их преимущества и ограничения. Необходимо составить список характеристик, которые были бы идеальными (иногда они могут быть недостижимы) и обдумать с помощью маркетологов какие соображения помогли бы продвижению продукта. Далее, следует учесть отношение между задумываемым проектом и другими, находящимися в работе, и работать над теми, в которых есть уверенность. Анализ перед началом практических действий может быть очень полезным. Часто достаточно сделать обоснованную догадку о перспективном решении, до того как начать экспериментировать. Эти стадии, хотя и трудны для формализации, являются частью планирования экспериментов.

Анализ следует продолжить обзором технических условий (ТУ) продукта, которые включают не только документы из органов государственного регулирования, но также и выдержки из требований заказчика или образцы конкурентных предложений. Нужно убедиться, что методы испытаний имеют соответствующую спецификацию. В некоторых отдельных случаях исходную рецептуру можно взять из источников поставщика (или специальной литературы, такой как настоящая книга). Поставщики компонентов зачастую охотно сотрудничают по программе испытаний. С другой стороны, есть применения, о которых разработчик дает только минимум информации о разработке рецептуры. Однако, при помощи современных аналитических приборов и достаточном усилии состав всех композиций может быть воссоздан.

С этой точки зрения, какая-либо программа экспериментов может быть спланирована как интуитивно (что обычно для случая широко известной общей области применения), так и статистически (что распространено при инновационных разработках). В наиболее распространенном случае текущая экспериментальная работа, вероятно, выполняется лаборантом, в то время как исследователь в технических задачах не задействован. Инструкции лаборанту должны указывать на наиболее вероятные результаты экспериментов, чтобы неожиданные результаты могли бы быть восприняты и немедленно доложены. Мы учимся именно на неожиданном. Успешный исследователь следует афоризму Пастера, гласящему, что удача улыбается готовым к ней. Конечно, лучше производить эксперименты самому (кроме случаев, когда предполагается, что лаборант проделает работу более тщательно).

По мере возможности необходимо записывать условия смешения, отмечать характеристики изменения температуры от времени на стадиях смешения и пластикации. Это может быть сверено с испытанием той же композиции в реометре. Если

важно сравнить физические свойства до и после теплового старения, то необходимо убедиться в том, что образцы для испытаний были изготовлены при полном проплавлении композиции. При изучении деформационных свойств, особенно в сравнении с контрольными или конкурентными образцами, лучше построить полную кривую зависимости напряжения от деформации, чем получить только значения предела текучести и предела прочности. Опытный химик может сделать выводы о различиях в рецептуре композиции, исходя из формы таких кривых. Если образец показывает значительные отклонения от среднеарифметических значений, то полезно попытаться установить причину. Например, необычайно малое значение модуля упругости при растяжении в сочетании с более или менее нормальным 100 процентным модулем является сигналом заподозрить разрушение данного образца на включениях недостаточно диспергированных ингредиентов. (Необычайно высокое значение прочности при растяжении будет, конечно, более заманчивым.)

Наконец, следует проверить результаты по каждой программе экспериментов чтобы определить будут ли они противоречить или, наоборот, соответствовать какой-то другой интересующей проблеме — возможно не стоило отвергать простое решение в прошлом.

1.5. Стоимость ингредиентов

Хотя некоторые компоненты смесей продается по объему, большинство из них закупаются по весу, так как являются предварительно смешанными продуктами. С другой стороны, изделия из ПВХ часто продаются по объему. Поэтому, необходимо знать цены, приходящиеся на стандартный объем материалов (практически везде в мире — это литр). Чтобы получить объемы ингредиентов, надо их веса в килограммах разделить на их плотности. Отношение общего веса к общему объему дает рассчитанную плотность композиции. В Соединенных Штатах обычен способ выражения веса ингредиентов в рецептуре в фунтах. «Ассоциированный» объем равен фунт/объем. Чаще всего его рассчитывают путем деления веса на удельный вес, то есть отношение его плотности к плотности чистой воды при данной температуре. Таким образом, удельный вес (УВ) — безразмерная величина, а фунт/объем (или кг/объем) — величина искусственно созданная. В непластифицированном ПВХ рассчитанные УВ должны хорошо соответствовать таковым в конечном изделии. Изменения в меньшую сторону говорят о пористой структуре или неполном сплавлении, Удельный вес изделий из пластифицированного ПВХ должен быть немного больше рассчитанного, в зависимости от содержания пластификатора. Это хорошо известный эффект сольватации [2]. Если такой эффект отсутствует, то есть при солидном содержании пластификатора есть полное (с точностью до 0,001) соответствие между наблюдаемым УВ и рассчитанным, то следует (после повторения расчетов) тщательно проверить склонность пластификатора к миграции. В целом, следует проверять удельные веса регулярно для оценки правильности составления рецептуры композиции, перед тем как тратить время на практические испытания.

Вывод состоит в том, чтобы периодически проверять массовый баланс, то есть проверять, соответствует ли количество полимера и других компонентов количеству полученного композиционного материала.

Потеря пластификатора в процессе переработки может происходить путем испарения, особенно в процессе сплавления пластизольного покрытия. В данном случае потери могут находиться на уровне нескольких процентов. Это может быть неизбежным и присущим данному продукту, и должно учитываться при расчетах стоимости и при контроле загрязнений окружающей среды.

Удельные веса распространенных ингредиентов представлены в нижеследующем разделе для облегчения расчетов стоимости.

Таблица 1.1. Удельные веса полимерных компонентов

ПВХ гомополимер	1,40
ПВХ/ винилацетат (ВА), 2% ВА	1,39
ПВХ/ВА, 5% ВА	1,38
ПВХ/ВА, 10% ВА	1,37
ПВХ/ВА, 15% ВА	1,35
Акриловый модификатор ударопрочности	1,10
Акриловая добавка для улучшения перерабатываемости	1,18
Акрилонитрил бутадиен стирол (АБС) модификатор ударопрочности	0,95–1,04
Метакрилат бутадиен стирол (МБС) модификатор ударопрочности	1,0
Поли(α -метилстирол)	1,07
Хлорированный полиэтилен (ХПЭ), 42% хлора	1,23
Хлорсульфированный полиэтилен	1,18
Бутадиен-нитрильный каучук (БНК)	0,99
ПВХ/полиуретановые (ПУ) смеси	1,3–1,4

1.6. Удельные веса ингредиентов

УВ полимерных ингредиентов представлены в табл. 1.1. УВ фталатных пластификаторов даны в табл. 1.2., специальных пластификаторов — в табл. 1.3, а «разных» пластификаторов — в табл. 1.4. УВ часто используемых органических добавок даны в табл. 1.5, а неорганических добавок — в табл. 1.6.

Таблица 1.2. Удельные веса фталатных пластификаторов

Дибutilфталат (ДБФ)	1,049
Диизобutilфталат (ДИБФ)	1,042
Бутилоктилфталат (БОФ)	-1,0

Дигексилфталат (ДГФ)	1,007
Бутилбензилфталат (ББФ)	1,121
Дициклогексилфталат (ДЦГФ)	1,23
Ди(2-этил)гексилфталат (ДОФ)	0,986
Диизооктилфталат (ДИОФ)	0,985
Дикаприлфталат (ДКФ)	0,973
Диизононилфталат (ДИНФ)	0,972
Ди-триметилгексилфталат	0,971
C ₉ линейный фталат	0,969
Диизодецилфталат (ДИДФ)	0,968
C ₇ -C ₉ линейный фталат	0,973
n-C ₆ -C ₁₀ (610P) фталат	0,976
n-C ₈ -C ₁₀ (810P) фталат	0,971
C ₁₁ линейный ди-n-ундецилфталат (ДУФ)	0,954
Ундецил додецилфталат (УДФ)	0,959
Дитридецилфталат (ДТДФ)	0,953

Таблица 1.3. Удельные веса специальных пластификаторов

Ди(2-этил)гексил адипат (ДОА)	0,927
Диизооктил адипат (ДИОА)	0,928
Диизодецил адипат (ДИДА)	0,918
n-C ₆ -C ₁₀ адипат (610А)	0,922
n-C ₈ -C ₁₀ адипат (810А)	0,919
Ди-n-гексил азелаинат (ДНГЗ)	0,927
Ди(2-этил)гексил азелаинат (ДОЗ)	0,918
Диизооктил азелаинат (ДИОЗ)	0,917
Дибутил себагинат (ДБС)	0,936
Ди-(2-этил)-гексил себагинат (ДОС)	0,915
Диизооктил себагинат (ДИОС)	0,915
Три(2-этил)гексил тримеллитат (ТОТМ)	0,991
Тиризооктил тримеллитат (ТИОТМ)	0,991
n-C ₈ -C ₁₀ trimellitate	0,978
Триизононил тримеллитат (ТИНТМ)	0,977
(2-этил)гексил эпокситаллат	0,922
Эпоксидированное соевое масло	0,996
Эпоксидированное льняное масло	1,034

Таблица 1.4. Удельные веса разных пластификаторов

Трикрезил фосфат (ТКФ)	1,168
Три(2-этил)гексил фосфат	0,936
Этилгексилдифенил фосфат	1,093
Изодецилдифенил фосфат	1,072
Изопропилдифенил фосфат	1,16–1,18

Ацетилтрибутил цитрат	1,05
Хлорированный парафин, 42% хлора	1,16
Ди(2-этил)гексил изофталат (ДОИФ)	0,984
Ди(2-этил)гексил терефталат (ДОТФ)	0,984
Дипропилен гликоль дибензоат	1,133
Изодецил бензоат	0,95
Пропилен гликоль дибензоат	1,15
Геркофлекс® 707	1,02
Нуоплаз® 1046	1,02
Триметил пентадиол изобутират	0,945
Низкомолекулярный полиэфир	1,01–1,09
Среднемолекулярный полиэфир	1,04–1,11
Высокомолекулярный полиэфир	1,06–1,15
Нафтеное масло	0,86–0,89
Алкил фенил сульфонат	1,06

Таблица 1.5. Удельные веса органических добавок

Этилен бис(стеарамид)	0,97
Стеарат кальция	1,03
Глицерил моностеарат	0,97
Парафиновый воск	0,92
Низкомолекулярный полиэтиленовый воск	0,92
Окисленный полиэтиленовый воск	0,96
Минеральное масло	0,87
Стеариновая кислота	0,88
Бисфенол А	1,20
Топанол® КА	1,01
Ирганокс® 1010	1,15
Ирганокс® 1076	1,02
Бензофеноновые УФ -абсорберы	1,1–1,4
Бензотриазоловые УФ абсорберы	1,2–1,4
Светостабилизаторы на основе затрудненных аминов (HALS)	1,0–1,2

Таблица 1.6. Удельные веса неорганических добавок

Карбонат кальция	2,71
Тальк	2,79
Кальцинированный каолин	2,68
Бариты	4,47
Слюда	2,75
Тригидрат алюминия	2,42
Триоксид сурьмы	5,5
Пентоксид сурьмы	3,8

Гидроксид магния	2,4
Основной карбонат магния	2,5
Оксид молибдена	4,7
Борат цинка	2,6
Сажа	1,8
Диоксид титана	3,7–4,2

1.7. Планирование экспериментов

Экспериментирование имеет две главные цели: улучшить понимание получаемых результатов, что дает представление о механизме; и разработать или улучшить конкретные продукты или процессы. Цели неотделимы, несмотря на попытки их разделить. Понимание химических и физических явлений, лежащих в основе какой-либо проблемы, помогает в ее решении настолько точно, насколько результаты экспериментов создают и модифицируют теоретические объяснения. Важно, чтобы разработчик ПВХ композиций продолжил читать эту книгу, прежде чем перейти к главе 22, в которой специалист рассказывает о том, как механизировать решение проблем.

Литература

1. E.A. Coleman, Introduction to Plastics Additives, in *Polymer Modifiers and Additives*, J.T. Lutz, Jr, and R.F Grossman, eds., Marcel-Dekker, New York, 2001.
2. M.L. Dennis, *J. Appl. Phys.*, 21, 505 (1950).