

дарта Украины от 17.04.1992 г. № 32 на институт возложены функции базовой организации по метрологическому обеспечению производства РТИ. С момента назначения проведен значительный объем работ, а именно:

- 1) разработан комплект организационно-методической документации по вопросам метрологического обеспечения;
- 2) разработана документация по поверке и аттестации нестандартизированных средств измерений (НСИ), эксплуатируемых на заводах отрасли, более, чем на 100 наименований;
- 3) организована метрологическая аттестация НСИ и метрологическая экспертиза НД для предприятий отрасли;
- 4) проводятся работы по аттестации испытательных подразделений предприятий-производителей РТИ и аттестации производственных участков по производству РТИ на предприятиях смежных отраслей;
- 5) организована разработка и изготовление стандартных образцов состава и свойств материалов для контроля качества РТИ;
- 6) проведена разработка НСИ и испытаний для контроля техпроцессов и качества РТИ более 50 наименований;
- 7) организовано мелкосерийное производство НСИ и испытаний и внедрено на заводах отрасли более 2 тыс. единиц; среди них термостат ТВО-1 с регулируемым воздухообменом, прибор для контроля длины рулонных материалов, прибор для контроля натяжения кордшнура при сборке викаля для клиновых ремней, серия цифровых термометров типа ТПК, прибор для контроля длины и скорости материалов, система контроля уровня сыпучих материалов в расходных бункерах и др.

Все перечисленное способствует повышению качества резинотехнической продукции.

Заключение. Как видно из далеко не полного перечня разработок УНИКТИ «ДИНТЭМ», обладая мощным научно-техническим потенциалом, испытательной и механической базой и экспериментальным производством, играет важную роль в экономике страны, обеспечивая резинотехнической продукцией предприятия многих отраслей народного хозяйства. Наибольший объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ проводится по заказам предприятий энергетики, всех отраслей машиностроения, нефтегазового комплекса, металлургии, строительства, горно-перерабатывающего комплекса, транспорта, судостроения и др.

Несмотря на огромные трудности, которые в связи с экономическим кризисом стали «спутником» нашей жизни, УНИКТИ «ДИНТЭМ» в новых экономических условиях старается быть полезным государству, и пока это удается.

МАССИВНЫЕ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫЕ ШИНЫ. МАТЕРИАЛЫ. ТЕХНОЛОГИЯ. КОНСТРУКЦИЯ

**Дзюра Е.А., Научно-инновационная компания «ЭЛКО»,
г. Днепропетровск.**

Массивные литые резиновые шины, которые начали применяться на колесах экипажах со времен открытия Ч. Гудйром в 1839 г. вулканизации каучука, не потеряли своей актуальности даже после создания и практического освоения в Великобритании Дж. Данлопом в 1888 г. пневматической шины. Во все времена, одновременно с развитием и совершенствованием пневматической шины, массивные цельнолитые прочно занимают свое место в ассортименте шинных производств всего мира. Появление на рынке новых типов каучуков,

наполнителей, вулканизирующих агентов и др. ингредиентов резиновых смесей отражалось также на процессе совершенствования технических характеристик и расширении областей применения массивных шин. Идеологически такие шины – сплошной массив резины на ободе колеса, что влечет за собой высокое сопротивление механическим повреждениям в особо тяжелых условиях эксплуатации (например, металлургические и стекольные производства, военная техника). Простая конструкция позволяет за счет изменения механических и упругогистерезисных характеристик резин применять при технической необходимости шины малых габаритов при высоких нагрузках на колеса. Сегодня созданы резины, а, следовательно, можно производить и массивные шины кислотостойкие, маслостойкие, электропроводные и др. в тех случаях, когда это диктуется техническими требованиями к эксплуатации колесной техники.

Из ста шестидесятилетнего опыта производства литых массивных шин почти сто тридцать лет эти шины изготавливались из мономатериала. В монографии В.С. Савосина и М.Л. Бограчева [1] обобщены данные о таких массивных шинах, дана их классификация по типам и способам их крепления к ободьям, рассмотрены методики расчета массивных шин, их способность к теплообразованию, описаны технологические процессы изготовления массивных шин различных типов и конструкций.

К недостаткам массивных шин, по сравнению с пневматическими, следует отнести большую материалоемкость и, связанные с этим, ограничения скоростных характеристик из-за генерирования тепла в массиве резины и температурных ограничений ее эксплуатации. Поэтому, в настоящее время, такие шины целесообразно применять в тех условиях, когда сопротивление механическим повреждениям играет решающую роль для экономичной эксплуатации. Повышение скоростных характеристик массивных шин может быть достигнуто простым конструктивным приемом, т.е. путем уменьшения высоты и увеличения ширины массива, т.е. увеличивая площадь отбора тепла металлическим бандажом от резины. При этом уменьшение высоты массивной шины снижает роль низкой теплопроводности резины и позволяет достигнуть определенного равновесия между скоростью процесса генерирования и отбора тепла [2]. Однако массивные шины такого типа имеют применение лишь для некоторых видов специальной и технологической техники, т.к. обладают малой амортизирующей способностью.

После 1970 г. в каталогах ряда Западноевропейских фирм (Бергуныян, Континенталь, Гумазоль, Монарх, Треллеборг) появились массивные шины «Суперэластик», которые имеют габариты пневматических шин аналогичных размеров и, сохраняя преимущества традиционных массивных шин, обеспечивают хорошие амортизирующие (демпфирующие) характеристики [3]. Одновременно, шины этого типа имеют более высокие скоростные характеристики, что позволяет обеспечить максимальные эксплуатационные скорости подъемно-транспортной техники до 30 км/час. Эти шины состоят из трех послойно расположенных конструктивных частей: посадочной из жесткой резины и стальных бортовых колец; эластичной из резины с низким уровнем теплообразования; протекторной – из резин, аналогичных применяемым в пневматических шинах для промышленной техники. Конструктивное оформление посадочной части таких шин требует изготовления металлических бортовых колец и сложной сборочной технологии.

Развивая научное направление в области малооперационных технологий изготовления шин, в литевой лаборатории НИИ крупногабаритных шин (КГШ)

(г.Днепропетровск, Украина) были разработаны резиноволокнистые композиционные материалы [5, 6], применение которых в шинах типа «Суперэластик» позволило реализовать малооперационный процесс их производства [7].

На основе этих разработок в 80-х – 90-х годах НИИ КГШ, а затем с 1994 года Научно-инновационной компанией «ЭЛКО» создан ряд массивных высокоэластичных шин (МВЭ), производство которых освоено на Ереванском шинном заводе, Белорусском шинном комбинате, Опытном заводе ГосНИИ КГШ и ОАО «Днепрошина». Эта статья обобщает результаты разработок в направлении создания массивных высокоэластичных шин для подъемно-транспортной и технологической техники.

Принципы создания резиноволокнистых композитов. Идея малооперационной технологии изготовления посадочной части массивных высокоэластичных шин состоит в создании материала, в котором бы армирующие элементы – короткие волокна равномерно располагались бы в резиновой матрице и, затем, в процессе формования шины проявлялся бы эффект анизотропии композитного материала. При этом важно, чтобы материал содержал необходимые вулканизующие агенты и промотеры адгезии для создания прочных связей в системе каучук – дисперсный наполнитель – короткие волокна.



Рис. 1 – Модели для аналитического определения «неэффективной» длины волокна: а – «неэффективные» концы волокна различной длины; б – элемент волокна бесконечно малой длины в равновесии

Механизм нагружения жесткого волокна как усиливающего элемента матрицы с высокой деформативной способностью предложен Кромом и Браутманом [8]. Поскольку нагрузка на волокно конечной длины передается через матрицу посредством касательных напряжений τ , то всегда на концах волокна имеется некоторая критическая длина, передающая напряжения. Это схематически показано на рис. 1 для волокна длиной ℓ , когда оно расположено вдоль направления растяжения композитного материала. Напряжение на концах меньше максимального напряжения на волокне и изменяется от $\sigma_{f_{max}}$ до нуля. Обозначив неэффективную концевую часть волокна или его критическую длину через $\ell_{kp}/2$, определяют величину β как отношение площади, ограниченной кривой распределения напряжений на длине $\ell_{kp}/2$, к площади прямоугольника, равной $\sigma_{f_{max}}(\ell_{kp}/2)$.



Рис. 2 – Распределение среднего напряжения $\bar{\sigma}_f$ по длине волокна

Концы коротких волокон несут пониженное среднее напряжение $\beta\sigma_{f_{max}}$ и снижают среднее напряжение на все волокно тем больше, чем больше отношение $(\ell_{kp}/2)/\ell$ (рис. 2).

Таким образом, когда волокна

растянуты до разрушения, т.е. их армирующее действие проявляется полностью, то среднее напряжение $\bar{\sigma}_f$ в коротком волокне должно быть ниже предела прочности $\bar{\sigma}_{f_{\max}}$

$$\bar{\sigma}_f = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} \sigma_f d_x. \quad (1)$$

Интегрирование этого выражения дает среднее напряжение в волокне

$$\bar{\sigma}_f = \sigma_{f_{\max}} \left[1 - (1 - \beta) \left(\frac{\ell_{kp}}{\ell} \right) \right]. \quad (2)$$

Для матрицы с высокой деформативной способностью по отношению к волокну, например для резины, σ_f на концах волокна возрастает от 0 до $\sigma_{f_{\max}}$ линейно и в этом случае

$$\bar{\sigma}_f = \sigma_{f_{\max}} \left(1 - \ell_{kp} / 2\ell \right). \quad (3)$$

Ясно, что для эффективного армирования необходимо реализовать полную прочность волокон, что возможно при малой величине ℓ_{kp} .

При равновесии осевых сил, действующих на некоторый малый элемент волокна длиной d_x (см. рис.1), находящийся под действием растягивающих напряжений, передаваемых матрицей получается

$$d\sigma_f \left(\frac{\pi D_f^2}{4} \right) = \tau (\pi D_f d_x); \quad \tau = \left(\frac{D_f}{4} \right) \left(d\sigma_f / d_x \right), \quad (4)$$

где τ – прочность связи волокна с матрицей.

Когда матрица по деформативной способности значительно превосходит армирующий элемент, то касательное напряжение на поверхности концов волокна длиной $\ell_{kp}/2$ может достигнуть максимального напряжения сдвига, т.е. величины прочности связи между волокном и матрицей. Интегрирование уравнения (4) от конца волокна до $\ell_{kp}/2$ позволяет получить критическое отношение длины волокна к его диаметру

$$\frac{\ell_{kp}}{D_f} = \frac{\sigma_{f_{\max}}}{2\tau}. \quad (5)$$

Таким образом, чем выше τ волокна с матрицей, тем меньше ℓ_{kp} . Если вместо ℓ_{kp} подставить в формулу (5) среднюю длину волокна (ℓ_{cp}) в РВК, то для полного использования его прочности получим минимальную величину

$$\tau = \tau_{kp} = \frac{\sigma_B \cdot D_B}{2\ell_{cp}}, \quad (6)$$

которая обеспечивает эффективное армирующее действие коротких волокон. Таким образом, обязательными условиями создания высокопрочных РВК является обеспечение $\tau \geq \tau_{kp}$ и $\ell_{cp} \geq \ell_{kp}$.

Можно представить следующий механизм деформирования и разрушения композиционного материала, армированного короткими волокнами, для случая идеальной адгезии ($\ell_{kp} \ll \ell$) волокна к матрице, обладающей высокой дефор-

мативной способностью:

- 1) упругая деформация волокна и матрицы;
- 2) упругая деформация волокна и высокоэластическая или пластическая деформация матрицы;
- 3) пластическая деформация волокна и высокоэластическая или пластическая деформация матрицы;
- 4) разрывы волокон, которые приводят к разрушению композиции в результате накопления достаточного числа таких разрушений.

Если волокна хрупкие, то третья стадия отсутствует.

Выбор типа короткого волокна для армирования резины определяется двумя факторами: способностью сохранять длину в процессе переработки и способностью обеспечить адгезионную прочность с резиной, т.е. $\tau \geq \tau_{кр}$. В наших работах показано [9, 10], что в наименьшей степени разрушаются в процессе переработки полиамидные волокна. Они же имеют на поверхности достаточное количество активных амидных групп, способных образовать прочные химические связи с компонентами резины посредством химических адгезионноактивных модификаторов. Если исходить из правила смесей, модуль упругости композита, армированного высокомодульными стеклянными волокнами должен быть существенно выше, чем при армировании полиамидными. Фактически стеклянные волокна разрушаются в высоковязких резинах до средней длины 0,3 мм, тогда как гибкие полиамидные практически сохраняют свою длину. Расчетные величины $\tau_{кр}$ по уравнению (6) для стеклянных и полиамидных (ПА) волокон составляют соответственно 58,5 МПа и 3,2 МПа. Следовательно, эффективность армирования резин ПА волокнами существенно выше.

Адгезионная прочность на границе резины и текстильного волокна в практике изготовления шин и других резинотехнических изделий достигается либо путем аппретирования нитей специальными составами, либо введением в состав резин химических модификаторов би- или полифункциональных соединений. В ряде случаев оба способа применяются одновременно. Для малооперационной технологии первый способ является нежелательным, так как увеличивает число переделов и производственных операций.

Наиболее эффективным классом бифункциональных адгезионноактивных модификаторов являются бисмалеинимиды (БМ), которые являются структурирующими агентами эластомеров различной природы и их активность существенно повышается в присутствии инициаторов радикальных процессов. Вследствие высокой электрофильности двойных связей, БМ легко вступают во взаимодействие с нуклеофильными заместителями (амино-, амидо-, гидроксильными группами и др.), содержащимися в молекулярных цепях волокнообразующих полимеров и, тем самым, обеспечивают крепление резин к неаппретированным комплексным нитям [11].

Высокой модифицирующей активностью обладают как алифатические, так и ароматические бисмалеинимиды; при этом реакционная способность ароматических имидов зависит от характера заместителя в бензольном ядре и положения малеинимидных групп. Для практической реализации наиболее реакционноспособным и доступным является м-фенилбисмалеимид [12].



венно возрастает в присутствии соединений щелочной природы (рис. 5), например, стеарата Na.

Известно, что сера образует химические связи с функциональными группами на поверхности технического углерода. Увеличение адгезионной прочности в присутствии технического углерода П234 (рН водной вытяжки 7-9) по сравнению с К354 (рН = 3-4), а также положительное влияние соединений щелочной природы на нее позволяют предположить возможность образования связей наполнитель – сера – модификатор – ПА. Результаты исследований ме-

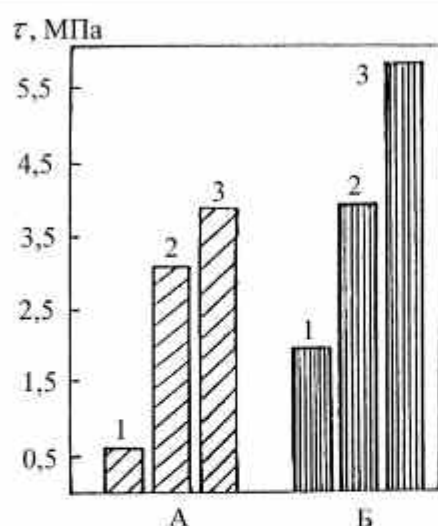
Адгезионная активность МФБМ, так же как его способность структурировать эластомеры, существенно усиливается в присутствии соединений – инициаторов радикальных процессов. Как показано на рис. 3 в резинах серной вулканизации МФБМ активируется ускорителями класса сульфенамидов и тиазолов.

Адгезионная прочность между волокном и резиной, не содержащей химических модификаторов, снижается с увеличением концентрации дисперсных наполнителей из-за уменьшения поверхности контакта эластомера и волокна.

В присутствии МФБМ положение меняется. Активные наполнители, в зависимости от природы функциональных групп на их поверхности, повышают адгезионную прочность (τ) резин с ПА гладкой нитью $D = 0,68$ мм в 1,9-3,7 раза [13]. Полуусиливающий наполнитель каолин и инертный мел существенно не влияют на τ (рис. 4).

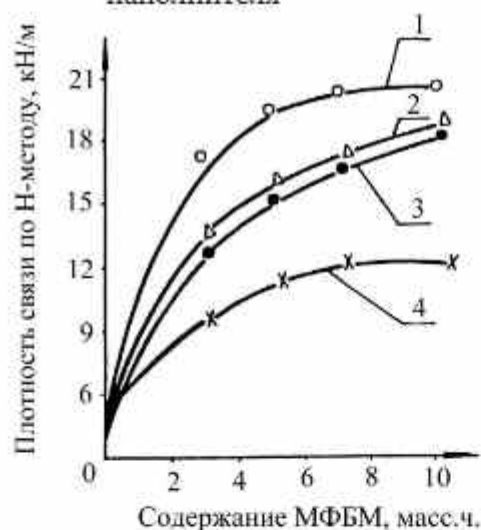
Она не зависит также от размера частиц активного наполнителя. Так, в присутствии технического углерода марок П514, П324, П234 (свободные адсорбционные поверхности равны 50, 75, 100 м²/г) увеличение практически одинаково.

Наиболее сильное повышение адгезионной прочности с ПА волокном в зависимости от типа наполнителя наблюдается для резин серной вулканизации. При этом адгезия существ-



А - без катализатора; Б - в присутствии катализатора; 1 - без наполнителя; 2 - К354; 3 - П234

Рис. 5 - Зависимость адгезионной прочности резин, содержащих МФБМ, от наличия щелочного катализатора и типа наполнителя



1 - ПА (капрон); 2 - ПА (анид); 3 - ПАр (терлон); 4 - вискоза
Рис. 6 - Прочность связи резины на основе СКИ-3 с непропитанными кордами различной природы в зависимости от концентрации МФБМ

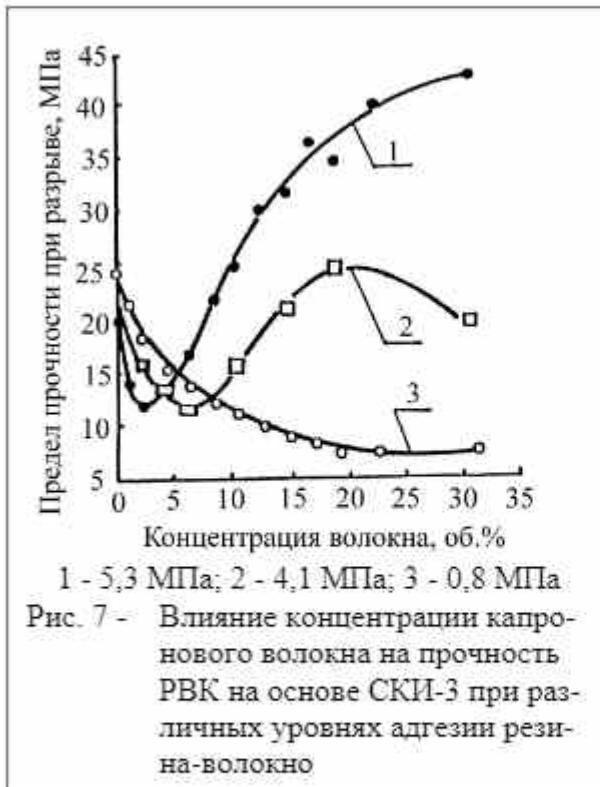
тодом ДТА взаимодействия серы с МФБМ подтверждают протекание химической реакции между этими соединениями. Путем проведения модельной реакции S с N-фениленмалеинимидом в соотношении 1:1 при кипячении в изопропаноле показано, что в присутствии уксусной кислоты выделяется только смесь исходных продуктов, а в присутствии стеарата Na реакция протекает довольно быстро: в осадок выпадает порошок светлосерого цвета ($T_{пл} = 310-312^\circ\text{C}$). Исследования этого продукта позволили установить [14], что сера реагирует с малеинимидами по двойным связям $-\text{CH}=\text{CH}-$, в результате в композите образуются дополнительные связи технический углерод - S - МФБМ - ПА, каучук-S-МФБМ-ПА и адгезионная прочность растет. Процесс возникновения этих связей катализируется добавками щелочных соединений.

Модифицирующее действие МФБМ зависит от природы армирующего материала (Рис.6). Наиболее высокая прочность связи резин получена с волокнообразующими полимерами, в цепи которых имеются

$-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-$ группы, активные по отношению к малеинидам. Максимальный уровень адгезионной прочности достигнут с поликапроамидным волокном. Снижение адгезионной прочности резин с анидным волокном по сравнению с капроновым связано с более высокой энергией взаимодействия и ограниченной подвижностью полимерных цепей ($T_{пл} = 265^\circ\text{C}$ против $T_{пл} = 215^\circ\text{C}$). У арамидного волокна жесткость макромолекул еще выше, и, кроме того, присутствие ароматических групп создает пространственные затруднения в образовании связей

с модификатором. Еще меньшую активность проявляют малеинимиды к функциональным группам вязких волокон.

Влияние адгезионной прочности между волокном и резиной на свойства РВК. Из изложенного выше следует, что для обеспечения высокой адгезионной прочности и эффективной работы полиамидного волокна в композите резиновая матрица на основе ненасыщенного каучука должна содержать хими-



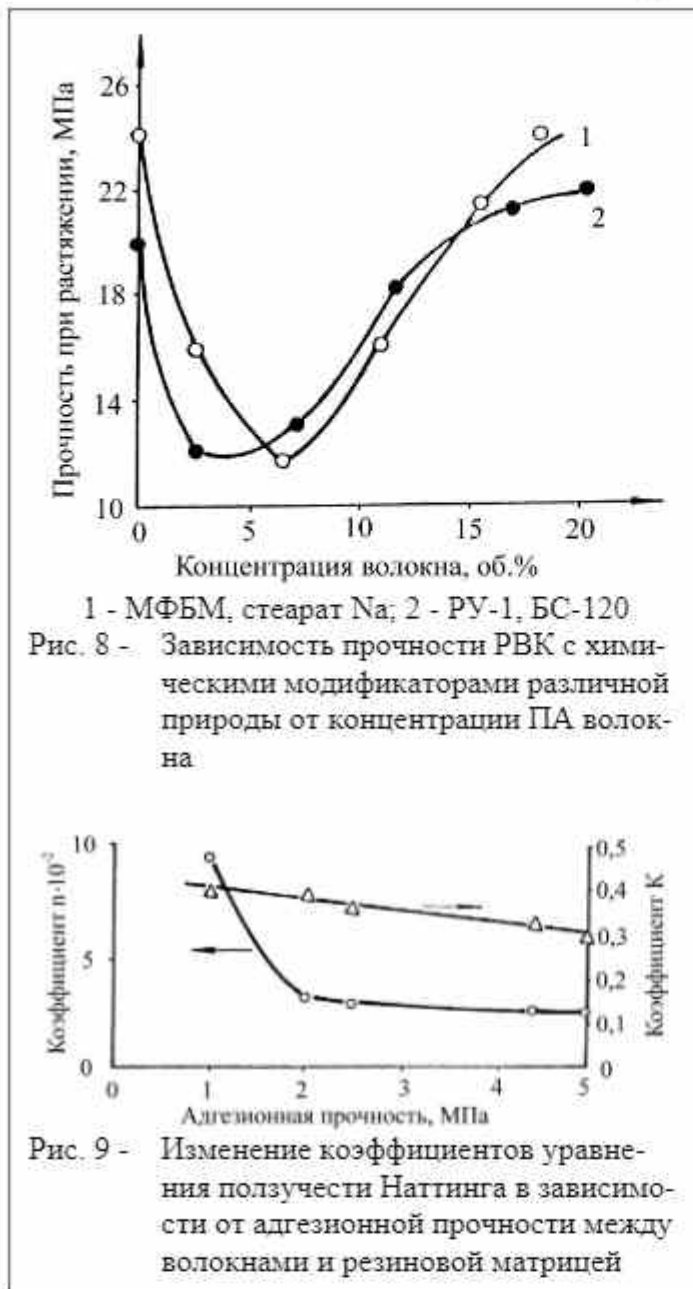
ческий модификатор МФБМ 5-8 масс.ч. в сочетании со щелочным агентом, например, стеаратом Na (1-2 масс.ч.), технический углерод печного типа, а также серу, активаторы и ускорители сульфенамидного или тиазольного классов. При этом, величина $\ell_{кр}$ капронового волокна ($D_s = 27 \mu\text{м}$) в РВК при $\tau = 5,38 \text{ МПа}$ составила 1,6 мм, тогда как без применения системы на основе МФБМ $\tau = 0,8 \text{ МПа}$ и $\ell_{кр} = 11,7 \text{ мм}$.

Зависимости прочности таких композитов σ_k от объемной концентрации капронового волокна V_s ($\ell_{ср} = 3,0 \text{ мм}$) представлены на рис. 7. Эти экспериментальные результаты показывают, что рост прочности композита и форма минимума зависимости $\sigma_k(V_s)$ в значитель-

ной мере определяется величиной τ . Последняя варьировалась изменением концентрации МФБМ от 0 до 5 масс.ч. Наиболее прочный РВК получен при выполнении условия $\ell_{ср} > \ell_{кр}$ [15]. Важно отметить, что такой РВК (при $V_s = 10 \text{ об.}\%$) практически не теряет прочность после теплового старения (72 ч, 100°C). Поскольку МФБМ образует прочные связи между волокном и компонентами резиновой матрицы, короткие волокна в значительной степени ограничивают деформируемость композита. Термостойкость этих связей с волокном значительно выше, чем у полисульфидных связей, определяющих сопротивление тепловому старению резиновой матрицы. В то же время в РВК механическое воздействие на ослабленные и разрушенные полисульфидные связи в резиновом вулканизате возможно только после нарушения связей с волокном. Благодаря этому РВК имеет высокое сопротивление тепловому старению, возрастающее с ростом концентрации коротких волокон [16].

Работами Шварца А.Г., Богуславского Д.Б. и др. исследователей показано, что введение в резиновые смеси химических модификаторов на основе комплексов двухатомных фенолов с донорами формальдегида (РУ-1) в сочетании с коллоидной кремнекислотой приводит к увеличению прочности связи с неапретированными ПА и вязкими кордными нитями. Сравнительная оценка с системой МФБМ, стеарат Na показала, что модификаторы на основе РУ-1 обеспечивают более низкую адгезионную прочность резин с ПА волокнами, но более эффективны в композитах с вязкими. Прочность РВК мало зависит от природы модификатора, а определяется лишь уровнем адгезии волокна с резиной (рис. 8).

В данном случае концентрация МФБМ необходима 3,5 масс.ч., чтобы получить равный уровень $\tau \sim 4 \text{ МПа}$ с системой РУ-1 (4 масс.ч.), БС-120 (10 масс.ч.) [6].



Наиболее важными характеристиками для практического применения РВК являются ползучесть и усталостная выносливость. Закономерность изменения ползучести РВК (10 об.% ПА волокна) от уровня адгезионной прочности в композите показаны на рис. 9. Следует отметить, что кривые ползучести РВК $\varepsilon(t)$ хорошо описываются эмпирическим уравнением Наттинга

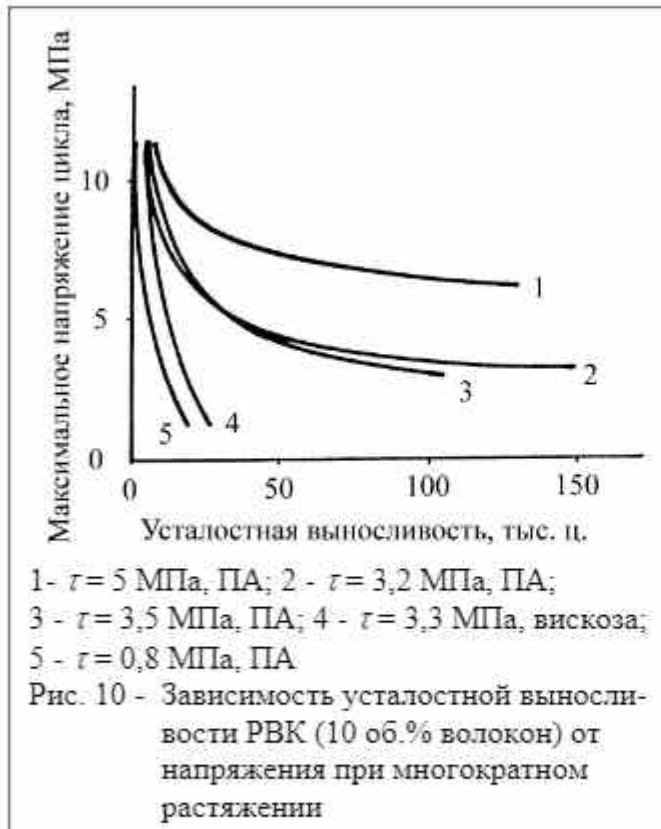
$$\varepsilon = \kappa \sigma^{\beta} t^n,$$

где κ , β , n – эмпирические коэффициенты, причем $\beta = 1$ в диапазоне напряжений $\sigma \leq 7,5$ МПа, t – время нагружения. При этом коэффициенты κ и n зависят от адгезионной прочности между резиной и волокном, его природы, концентрации, ориентации в РВК, а также содержания и типа дисперсного наполнителя [17]. Коэффициенты κ и n с ростом адгезионной прочности между волокном и матрицей уменьшаются. Однако, коэффициент n растет с увеличением концентрации и удельной поверхности дисперсного наполнителя. Поэтому, например, при необходимости

увеличения концентрации технического углерода в РВК более 40 масс.ч. по экономическим соображениям целесообразно применять комбинации активного и малоактивного наполнителя. По сумме факторов, влияющих на сопротивление ползучести РВК, следует стремиться к получению материала с малыми величинами κ и n , что позволит обеспечивать стабильность размеров изделия.

При динамическом воздействии на образцы РВК (10 об.% волокна) с постоянной амплитудой напряжения при частоте 4,5 Гц наиболее высокий условный предел усталостной выносливости $\sigma_{np} = 5$ МПа, определяемый по кривым Велера, (рис. 10), также получен при наибольшей адгезионной прочности между полимерными волокнами и резиновой матрицей (кривая 1).

Тип химического модификатора в резине не оказывает определяющего влияния на величину условного предела усталостной выносливости, что подтверждает сравнение кривых 2 (РУ-1 + ВС-120) и 3 (МФБМ + стеарат Na). Тип волокна, напротив, существенно влияет на усталостную выносливость РВК.



Кривые 2 (ПА волокна) и 4 (вискозные волокна) характеризуют усталостную выносливость РВК с близким уровнем адгезионной прочности между резиной и волокном. Вискозные волокна, которые по сравнению с полиамидными легко разрушаются при многократных деформациях, сообщают РВК низкую усталостную выносливость. Наиболее высокий условный предел усталостной выносливости обеспечивают ПА волокна.

Таким образом, химические связи волокна с компонентами резиновой матрицы определяют величину ℓ_{xp} и, тем самым, эффективность армирования и уровень статических и динамических свойств РВК. Обра-

зование этих связей происходит при вулканизации РВК.

Однако, основные физико-механические характеристики композитного материала определяются в процессе его изготовления, т.к. каландровый эффект проявляется в анизотропии прочностных свойств РВК достаточно сильно, что требует специального подхода к технологическому процессу и оснастке при изготовлении массивных шин.



Важнейшим преимуществом РВК перед резинами, усиленными дисперсными наполнителями, являются способность этих материалов к изменению модуля упругости в пределах десятичного порядка за счет варьирования концентрации волокна и технологии изготовления изделия. Причем, как и для других материалов, армированных анизодиметричными частицами, их модули упругости при растяжении (E_{5p}) и сжатия (E_{5c}) существенно различаются. Это показано на рис. 11 причем зависимости E_{5p} и E_{5c} от объемной концентрации (V_f) ПА волокон имеют различный характер. Рост E_{5c} наблюдается лишь до $V_f \sim 7\%$ об., тогда как E_{5p} растет монотонно во всем диапазоне концентраций волокна. В тоже вре-

мя, как видно на рис. 7, РВК имеют характерные зависимости с минимумом

прочностных показателей в области концентраций волокна 2-7 %об. Следует также отметить, что традиционные методы, переработки резин (каландрование, шприцевание) могут быть использованы для РВК, содержащих не более 12 %об. ПА волокон. С точки зрения применения РВК с достаточно высоким уровнем прочности при растяжении можно выделить композиты в двух областях концентраций коротких волокон 0,5 – 1%об. (тип 1) и 8 – 12%об. (тип.2).



Рис. 12 - Технологическая схема производства массивных высокоэластичных шин

изводства, применяя технологический процесс навивки горячей ленты на специальный обод. На рис. 12 представлен такой технологический процесс, где последовательная навивка трехслойной массивной высокоэластичной шины ведется на стальной технологический обод, который, затем вместе с заготовкой устанавливается в автоклавную пресс-форму, где, производится литьево прес-сование и вулканизация.

Главным назначением посадочной части является-удерживание шины на ободе в течение всего периода эксплуатации, что обеспечивает РВК с достаточно высоким модулем упругости при растяжении и сжатии, а также сопротивлением релаксации напряжений.

Первоначально известны величина крутящего момента (M), посадочный диаметр (D) и ширина полки (L) обода. Минимальная величина удельного давления P , исключающего проворачивание шины на ободе, при максимальном моменте M равна:

$$P_{\min} = \frac{2M}{f\pi D^2 L}, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения равный 0,8.

Условием удерживания шины на ободе являются: $P > 2M/(f\pi D^2 L)$. Для РВК, как полимерного композита, необходимо учитывать процессы релаксации напряжения. Именно в том и состоит материаловедческая задача создания композитного материала посадочной части, чтобы коэффициент релаксации напряжения (m), обеспечивал меньшее снижение P_0 за счет высокой адгезии между короткими волокнами и резиной [19]

$$P(t) = P_0 t^{-m}, \quad (7)$$

где $P(t)$ – удельное давление на обод в момент времени t ; P_0 – начальное удель-

Для решения проблемы посадочной части массивной шины необходимо применять композитные материалы типа 2. Это позволяет не использовать в конструкции стальные бортовые кольца и другие типы армирующих элементов и, тем самым, обеспечить реализацию малооперационной технологии про-

ное давление; t – время эксплуатации.

При этом, P_0 пропорционально начальному модулю упругости, $E_{5p} = \kappa_1 \cdot P_0$ или $E_{5c} = \kappa_2 \cdot P_0$, где κ_1 и κ_2 некие эмпирические коэффициенты, связывающие с P_0 , экспериментально определяемые E_{5p} и E_{5c} . Некий модуль упругости E анизотропного цилиндрического кольца из РВК, посаженного на обод с натягом δ , определяется более сложным образом по уравнению:

$$E = \frac{\kappa P_0 R_1}{\delta} \left(\frac{R_1^2 + R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} + \mu \right), \quad (8)$$

где P_0 – начальное удельное давление; κ – коэффициент, связывающий E с удельным давлением; R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиусы посадочной части шины; μ – коэффициент Пуассона, принятый равным 0,5.

Важно отметить, что коэффициенты релаксации m при растяжении и сжатии образцов композитного материала практически равны. В этой связи, принимаем, что падение величины E во времени также определяется таким же значением m . Это позволяет рассчитывать сохранение величины упругого поджатия массивной шины через длительные промежутки времени.

Практически в эксплуатации уже более пяти лет применяются шины размеров от 4.00-8 МВЭ до 12.00-20 МВЭ, где посадочная часть выполнена из РВК. Случаи проворачивания шин относительно обода отсутствуют. Важно отметить, что в качестве армирующих элементов в композитах применялись не только стандартные короткие полиамидные волокна, но также дробленые обрезиненные отходы полиамидного корда в сочетании с химическим модификатором РУ-1 [20].

Общим требованиям для резин эластичной и протекторной частей является высокое сопротивление реверсии при вулканизации и уменьшение способности к генерации тепла в процессе качения шины. Первое требование для этих резин достигается применением рецептур, содержащих в составе вулканизирующей группы комбинации серы, сульфенамидных ускорителей и дитиодиморфолина (ДТДМ) или метафенилениленбисмалеимида (МФБМ). Протекторная часть должна обеспечить достаточное сопротивление абразивному износу и сколам, что достигается применением НК в сочетании с БСК и активным техническим углеродом. Ее толщина должна составлять не более 20 % общей высоты профиля массивной шины. В конструктивном плане она должна иметь поперечные открытые полости, что обеспечит отвод тепла, которое генерируется шиной в процессе качения [21].

Наиболее важным элементом МВЭ шины является эластичная часть. Выбор композиционного материала этой части является определяющим для долговечности шины. Известно, что генерация тепла в наполненных резинах пропорциональна квадрату деформации, т.е. ε^2 [22]. Известны следующие закономерности:

- рост содержания наполнителя увеличивает теплообразование (гистерезис) резин;
- увеличение степени дисперсности технического углерода (т.е. общей межфазной поверхности также повышает теплообразование);
- увеличение спектра распределения частиц наполнителя по размерам снижает теплооб-

разование.

Поэтому в резине эластичной части применяется комбинация техниче-



ского углерода, например марки ПЗ23 (размер частиц 26-30 нм) с техническим углеродом П803 (размер частиц до 100 нм), что увеличивает объемное наполнение и жесткость материала и уменьшает гистерезисные потери, т.к. последние зависят от суммарной межфазной поверхности. Дальнейшее увеличение сопротивления сжатию, т.е. уменьшение деформационной способности резин достигается путем применения в композитном материале малых концентраций полиамидных волокон, т.е. применения РВК типа 1 (рис 11).

Эффективность снижения генерации тепла за счет применения РВК типа 1 в эластичной части массивных шин для автопогрузчиков демонстрируется результатами исследований на модельных двухслойных образцах, общие габаритные размеры которых показаны на рис. 13. Образец испытывался в режиме постоянной нагрузки сжатия. Температура измерялась в пяти точках по его высоте.

Двухслойный образец, моделирующий МВЭ шин (рис. 14), состоит из эластичного, высотой a_1 и протекторно-

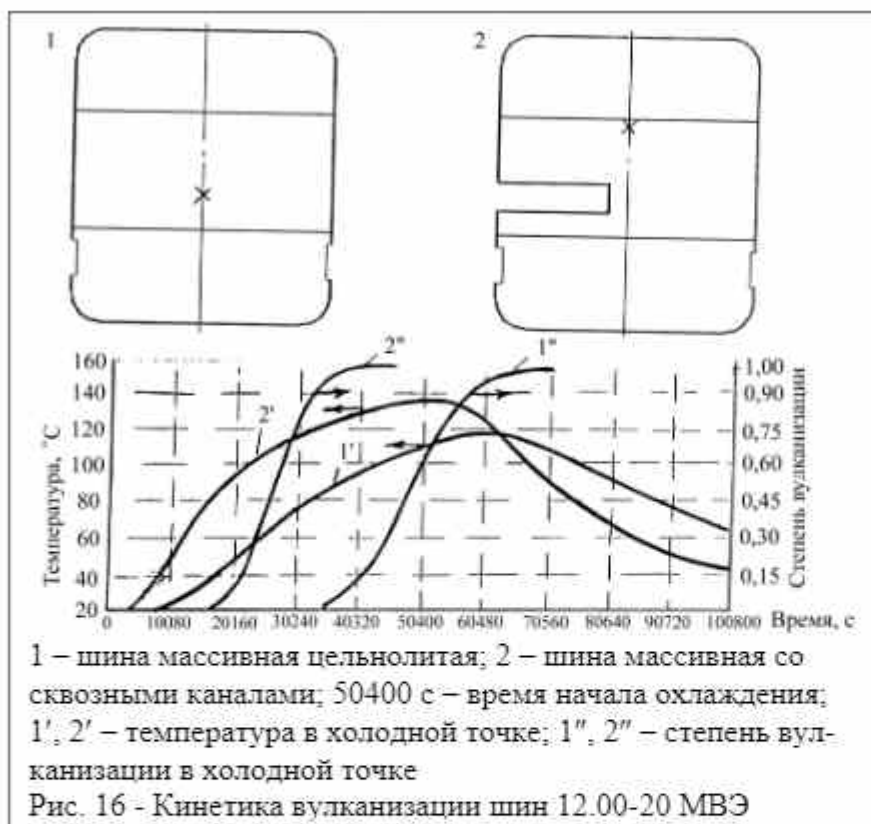
го, высотой a_2 слоев. При этом модуль упругости при сжатии материала под протекторного слоя превышает аналогичный показатель для бегового слоя на 30%, что достигается наполнением эластичного слоя короткими ПА волокнами (1%об., кривые 1 и 2). Варьирование соотношения a_2/a_1 показывает, что увеличение высоты армированного слоя a_1 приводит к снижению средней температуры по высоте образца. Кривая 3 демонстрирует вариант, в котором весь модельный образец состоит из резины, содержащей только 50 масс. ч. технического углерода (традиционный вариант), без коротких волокон.

Трехслойный образец, моделирующий расположение материалов по поперечному сечению массивных шин (рис. 15), состоит из посадочной, толщиной e_1 , эластичной, толщиной e_2 , и протекторной, толщиной e_3 , частей. При этом в эластичной части применяется РВК типа 1, а в посадочной – типа 2. Варьируется высота демпфирующей части, которая уменьшается от кривой 1 до 3 за счет увеличения высоты e_3 протекторной резины. Последняя не содержит коротких волокон. Температура в образце заметно снижается с увеличением тол-

ШИНЫ ЭЛАСТИЧНОГО СЛОЯ.



количества и геометрической формы каналов [23]. Кроме того, металлические штыри, формирующие сквозные каналы, играет роль теплоотводов, что позволяет существенно уменьшить время вулканизации МВЭ шин.



Таким образом, резина эластичного слоя обеспечивает более низкое теплообразование по сравнению с резиной протекторной части. Для обеспечения долговременной работы шины модули упругости при сжатии (E_c) резин всех частей массивной высокоэластичной шины должны быть в следующих соотношениях:

$$E_c n_p < E_c n_n < E_c n_c.$$

Дальнейшее повышение комфортабельности МВЭ шин решается конструктивным приемом – выполнение сквозных каналов в центральной части от центра к боковине. Это позволяет: снизить массу шины, регулировать ее радиальную жесткость путем варьирования

На рис. 16 на примере вулканизации шины 12.00-20 МВЭ двух конструкций показано, что время вулканизации сокращается в два раза за счет введения в конструкцию шины сквозных каналов. Это существенно снижает энергоемкость технологии производства МВЭ шин. На рис. 17 показан натуральный образец такой шины.

На основе представленных данных НИК «ЭЛКО» разработаны и на ОАО «Дне-

прошина» организовано производство серии МВЭ шин. Ассортимент шин показан в таблице. Шины предназначены для эксплуатации на подъемно транспортной технике.

Таблица - Массивные высокоэластичные шины для подъемно-транспортной и технологической техники

Размер шины, модель	Профиль обода	Габариты, мм		Нагрузка, кг при 25 км/ч	
		Диаметр	Шир. н/б	Ведущ.	Направ.
5.00-8 МВЭ ЭЛКО-332	3.00D	458±10	124	1415	1090
18x7-8 МВЭ ЭЛКО-331	4.33R	453±9	157	2145	1650
6.00-9 МВЭ ЭЛКО-351	4.00E	529±11	140	1885	1450
21x8-9 МВЭ ЭЛКО-352	6.00E	524±11	190	2755	2120
6.50-10 МВЭ ЭЛКО-341	5.00F	576±12	166	2340	1800
28x9-15 МВЭ ЭЛКО-316	7.00	693±14	227	3770	2900
8.25-15 МВЭ ЭЛКО-311	5.00P	820±16	180	4750	3650
8.25-15 МВЭ ЭЛКО-312	6.50	820±16	214	4750	3650
8.25-20 МВЭ ЭЛКО-321	7.00	950±20	230	4400	3675
8.25-20 МВЭ ЭЛКО-323	8.50	950±20	260	5500	4075
11.00-20 МВЭ ЭЛКО-326	8.00	1090±20	274	6500	5425
12.00-20 МВЭ ЭЛКО-324	8.50	1090±20	286	7500	6250



Рис. 17 - Шина 12.00-20 МВЭ со сквозными каналами

Характерной особенностью этих шин является: изготовление по малооперационной технологии, устойчивость против порезов и проколов, сниженные затраты на техническое обслуживание, повышенная ходимость МВЭ шин в сравнении с пневматическими в 1,5 – 2,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савосин В.С., Бограчев М.Л. Массивные шины (конструкция, изготовление, эксплуатация) М.: Химия, 1981.
2. Жеребцов А.Н., Горелов В.С., Михайлов А.Г., Шиманский Б.А. // Массивные шины. Расчет, конструирование, технология, испытания, под редакцией И.В. Веселова. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. -С. 41-51.
3. // Industrial Tires. Modern Tire Dealer. -1983. -V64, № 9. -р.34.
4. // Gummbereifung. -1981. -№ 9. -р.35, 38-40.
5. Дзюра Е.А., Серебро А.Л. Свойства и применение в пневматических шинах резин, армированных короткими отрезками волокон различной природы: Тем. обзор. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1978. -64 с.
6. Дзюра Е.А. Принципы создания резиноволокнистых композитов для корпуса бескамерной пневматической шины. //Труды международной конференции по каучуку и резине. -Москва, 1984 г. (Препринт С8).
7. Дзюра Е.А. Малооперационная технология изготовления шин с применением резиноволокнистых композитов // Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. -Москва, МИТХТ им. М.В. Ломоносова. -1991.
8. Браутман Л., Крок // Современные композиционные материалы. -Москва: Мир, 1970. -С. 35-37.
9. Дзюра Е.А., Серебро А.Л., Кирюшина Н.Д. // Каучук и резина. -1983. -№ 12. -С. 19-22.
10. Дзюра Е.А., Серебро А.Л. // Каучук и резина. -1978. -№ 7. -С. 32-34.
11. Волченко Л.М. Исследование эффективности бис-малеимидов в качестве модифицирующих агентов при креплении резин к текстильным материалам // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. -Москва: НИИШП. -1976.
12. Богуславский Д.Б., Дзюра Е.А., Волченко Л.М. // Химическая модификация резин. -Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1985. -С. 80-91.
13. Дзюра Е.А., Волченко Л.М., Кирюшина Н.Д. // Каучук и резина. -1987. -№ 1. -С.17-20.
14. Dzyura E.A., Volchenok L.M., Modification of rubbers of bis-maleimides // Preprints of international rubber conference, China. 13-15 Dec. -1992. -р. 289-291.

15. Dzyura E.A. // International J. of polymeric materials. -1980. -V.9. -p. 165-176.
16. Дзюра Е.А., Волченко Л.М., Маркова И.В. // Каучук и резина. -1988. -№ 12. -С.21-23.
17. Дзюра Е.А., Науменко А.П.// Крупногабаритные шины для карьерных автосамосвалов и сельскохозяйственной техники. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. -С.90-99.
18. Дзюра Е.А., Кузьмин А.В.// Каучук и резина. -1983. -№1. -С.26-28.
19. Дзюра Е.А., Науменко А.П., Некрылов В.И.// Промышленность СК, шин и РТИ. -1987. -№ 12. -С.21-23.
20. Дзюра Е.А., Науменко А.П., Капаровский Э.Я., Коваленко В.И., // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. -Київ. -1999. -№ 4. -С. 94-98.
21. Науменко А.П. Научно-технические основы создания пневматических шин из эластомерных композиционных материалов // Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. -Днепропетровск, УДХТУ. -1997.
22. E. Meineske // Rubber Chem. and Technol. -1991. -№2. -P.269-284.
23. Белковский В.Н., Дзюра Е.А., Клименко Л.Г., Некрылов В.И. // Каучук и резина. -1989. -№2. -С.39-41.

ЕКОЛОГО-ЕРГОНОМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛИШЕННЯ ПОРІД У ВИРОБЛЕНОМУ ПРОСТОРИ ШАХТ

Перепелиця В.Г., ІГТМ НАНУ, м. Дніпропетровськ

Основні обсяги вітчизняного вуглевидобутку пов'язано з підземним способом розробки, який значним чином впливає на стан земної поверхні у місцях розташування шахт. Тут утворюються провали, зсуви, котловани, відбувається опускання поверхні з наступним її підтопленням і формуванням болотних структур. Тому актуальним для гірничодобувних підприємств є питання закладки виробленого простору як засобу запобігання виникненню вказаних явищ. Оцінкою стану гірничого виробництва з точки зору наявності відходів і досвіду їх утилізації доведено, що утворення підземних порожнин в процесі видобутку вугілля і акумулювання значної кількості гірничопромислових відходів є екологічно значущим фактором і являє собою одну з причин негативних наслідків техногенно-екологічного характеру у вугледобувних регіонах. Динаміка змінення абсолютних і відносних обсягів твердих відходів гірничо-промислового виробництва за останні 20 років свідчить про те, що при будь-якому рівні споживання вугілля супутнє утворення твердих відходів буде досить значним і очікується близько 600-800 т на кожні 1000 т видобутку вугілля. В зв'язку з цим ситуація вугледобувних регіонів потребує прийняття заходів щодо зменшення обсягів накопичення твердих відходів на денній поверхні, для чого потрібен комплекс рішень, спрямованих на більш масштабне застосування і якісне змінення способів закладання виробленого простору. Досвід використання існуючих для цього технологій наявно ілюструє ствердження про те, що на основі закладальних робіт можуть бути створені передумови для вирішення цілого комплексу інженерно-технічних задач, які охоплюють широкий спектр техніко-технологічних проблем гірничого виробництва.

Однією з таких задач є необхідність нормалізації температури повітря і створення комфортних умов праці у виробках глибоких шахт. Актуальність такої задачі пояснюється тим, що подальший розвиток видобутку вугілля в Донецькому басейні здійснюється здебільше за рахунок освоєння великих глибин. Аналіз динаміки змінення середньої глибини шахт за останні 20 років показує, що глибина розробки збільшилася на 63%, а число шахт з глибиною більш 800 м майже подвоїлося. Сьогодні 55% шахт ведуть гірничі роботи на глибинах близько 1000 м, а до 2005 року майже 25% шахт перейдуть на глибини більше 1100 м. По мірі збільшення глибини