



# МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Существует множество испытаний по определению свойств асфальтобетона. К примеру, ГОСТ Р 58406.3 позволяет с уверенностью оценивать стойкость асфальтобетона к колееобразованию, методика испытания имитирует процесс образования колеи в реальных условиях. В нашем Северо-Западном регионе мы предпочитаем проводить испытание на колею в воде с металлическим колесом, что позволяет определять одновременно и колееустойчивость, и адгезионную стойкость (устойчивость к воздействию воды).

Есть ряд вопросов к определению низкотемпературной трещиностойкости. На данный момент это общемировая проблема, поскольку этот вопрос до сих пор не решен полностью как в Китае, так и на Западе. У нас есть стандарт на испытание балочек асфальтобетона на изгиб – ГОСТ Р 58406.6, который по большому счету повторяет метод испытания по ГОСТ 12801. Практика показывает, что при испытании по этой методике результаты не всегда имеют хорошую взаимосвязь с низкотемпературными свойствами битума. Метод испытания достаточно трудоемкий, занимает много времени, и не во всех дорожно-строительных лабораториях есть соответствующее оборудование.

В стандарте на объемно-функциональный метод проектирования асфальтобетона ГОСТ Р 58401.1 не предусматривается испытание асфальтобетона на низкотемператур-

ную трещиностойкость, считается, что она обеспечивается за счет битумного вяжущего. Это действительно так: определяя нижнюю границу PG, мы обеспечиваем низкотемпературную трещиностойкость, поскольку она практически полностью зависит от свойств битумного вяжущего. Конечно, есть еще много факторов, которые существенно влияют на низкотемпературную трещиностойкость. Например, содержание битумного вяжущего, его старение на технологическом этапе, толщина битумной пленки, адгезия, содержание воздушных пустот, прочность каменного материала, вид и тип асфальтобетона и т.д. Факторов много, поэтому нам действительно необходим метод испытания асфальтобетона на низкотемпературную трещиностойкость, чтобы подтверждать и обеспечивать необходимые свойства.

В последнее время появилось большое количество модификаторов для асфальтобетона, которые работают

по принципу сухого ввода, то есть их вводят непосредственно в смеситель асфальтобетонного завода при производстве. Есть определенные трудности при проверке влияния таких модификаторов на битумные вяжущие. Это можно сделать, но в итоге все равно требуется проверка асфальтобетона, которая подтвердит его эксплуатационные свойства как при низкой, так и при высокой температуре. Колееустойчивость мы можем определить, но применение таких модификаторов упирается в обеспечение низкотемпературных свойств.

Таким образом, на сегодня актуальным является вопрос определения низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетона. Необходим простой, быстрый и чувствительный метод, который будет показывать взаимосвязь свойств битумного вяжущего и асфальтобетона.

Мы провели анализ литературы, использовали свой опыт работы

с асфальтобетоном по определению устойчивости к трещинообразованию [1; 2]. В результате пришли к выводу, что самым простым, надежным и чувствительным испытанием сейчас является определение трещиностойкости через тест на прочность при непрямом растяжении. Аналогичная методика используется при определении индекса трещиностойкости  $CT_{index}$  при средних положительных температурах 20–25 °С (рис. 1) и учитывает энергию разрушения (площадь под кривой нагрузка-деформация), постпик наклон и величину вертикальной деформации (формула 1 и 2).

$$CT_{index} = \frac{\epsilon}{62} \times \frac{G_f}{l} \times \left(\frac{l_{25}}{D}\right) \quad (1)$$

где энергия разрушения  $G_f$  – работа разрушения (площадь под кривой от нагрузки и вертикального перемещения), отнесенная к площади поверхности растрескивания (рис. 1); вне зависимости от нагрузки и деформации асфальтобетон с большой энергией разрушения будет обладать лучшей трещиностойкостью. Отношение нагрузки к деформации  $P/l$  является параметром «модуля» (или наклоном кривой нагрузки-перемещения); более жесткие смеси с высокой прочностью и малым перемещением обладают худшей стойкостью к образованию трещин. Отношение деформации к диаметру  $l/D$  является параметром устойчивости к «деформации» (или деформационной устойчивостью под нагрузкой); чем больше  $l$  (деформация),

тем выше устойчивость к образованию трещин.

$$CT_{index} = \frac{\epsilon}{62} \times \frac{G_f}{|m_{75}|} \times \left(\frac{l_{25}}{D}\right) \quad (2)$$

$$\text{где} \\ |m_{75}| = \left| \frac{P_{65} - P_{85}}{l_{85} - l_{65}} \right|$$

Рассмотрев эту методику достаточно подробно, мы пришли к выводу, что  $CT_{index}$  зависит в основном и в большей степени от энергии разрушения и от прочности асфальтобетона при непрямом растяжении, а энергия разрушения уже учитывает в себе величину перемещения (деформацию) образца.

Взяв за основу данную методику испытания и метод непрямого растяжения ГОСТ Р 58401.18, решили провести разработку метода испытания на трещиностойкость при отрицательной температуре минус 18 градусов с оценкой по энергии разрушения, как наиболее чувствительному элементу индекса трещиностойкости –  $CT_{index}$ .

На первоначальном этапе были определены условия испытания. Так как скорость нагружения образца на прессе должна быть оптимальной, время испытания должно быть минимальным, чтобы образец не успел нагреться от окружающей среды. При этом скорость нагружения должна быть как можно медленнее, чтобы получить больше информации без абсолютно хрупкого разрушения и избежать удара. Стандартно скорость нагружения при испытании на непрямо растяжение составляет 50 мм/мин, но

эта скорость хорошо подходит только для положительных температур, при отрицательных температурах асфальтобетон имеет высокую жесткость и нагружается очень быстро, фактически при такой скорости происходит механический удар, которого практически не может быть в природе, что приводит к получению некорректного результата. В итоге после проведения серии экспериментов с образцами из разных асфальтобетонных смесей мы пришли к выводу, что оптимальной является скорость нагружения 3 мм/мин. Аналогичная скорость используется при испытании асфальтобетона на прочность в ГОСТ 12801.

Следующей задачей было определение взаимосвязи между свойствами битума и энергией разрушения при непрямом растяжении при температуре минус 18 градусов. Чтобы минимизировать влияние зернового состава, была выбрана песчаная асфальтобетонная смесь с содержанием битумного вяжущего 6,5% на основе песка из отсева дробления габбро-диабаз. Всего было испытано 30 вариантов составов с битумными вяжущими от различных производителей. Для каждого варианта асфальтобетонной смеси на гираторе подготавливалась серия образцов диаметром 100 мм и толщиной 62 мм. Далее образцы термостатировались при минус 18 градусах не менее 7 часов, после чего проводили испытание на непрямо растяжение на прессе ДТС-100 (100кН). Данные с прибора передавались на компьютер и затем

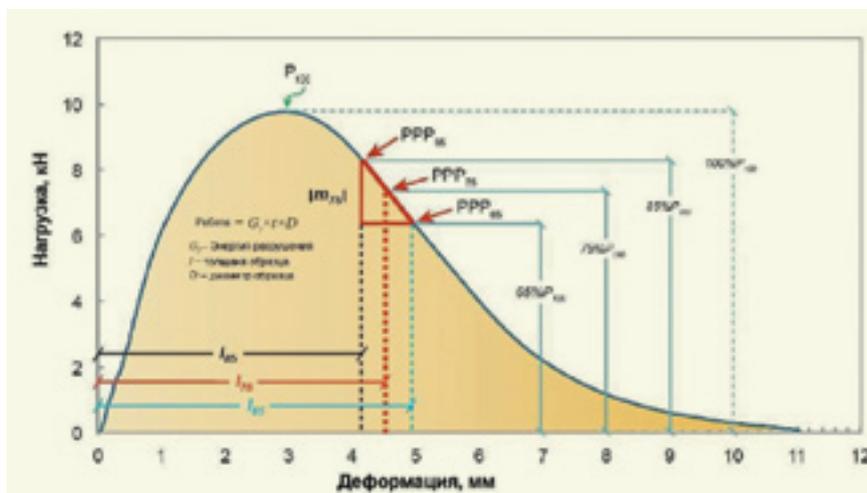


Рис. 1. Схема расчета индекса трещиностойкости ( $CT_{index}$  по ASTM D8225), справа – отечественное оборудование для испытания

обрабатывались в программе. На рис. 2 приведены характерные кривые, получаемые при испытании асфальтобетона с различными битумными вяжущими.

Как видно из графика, восприятие нагрузки асфальтобетона существенно зависит от применяемого вяжущего. В асфальтобетоне на битуме БНД (зеленый, синий цвет) быстро возрастает напряжение и происходит резкий спад после достижения максимального пика, то есть происходит хрупкое разрушение. Кривая нагрузка-деформация асфальтобетона на ПБВ (желтый) и в особенности РГ-вяжущих (красный, серый) выглядит более плавно как при достижении пиковой нагрузки, так и после при разрушении образцов.

Важным является момент или точка разрушения, то есть то, что мы принимаем за разрушение образца или полное раскрытие, образование трещины, поскольку достижение пика нагрузки еще не является разрушением асфальтобетона. Разрушение образца и образование (раскрытие) трещины происходит уже на стадии пост-пик нагрузки, после достижения и прохождения пика. Если придерживаться общих принципов, то моментом разрушения можно считать 50-процентную потерю прочности или падение нагрузки на 50%. В нашем случае мы приняли, что асфальтобетон разрушается и происходит полное раскрытие трещины при падении прочности до 50% от максимальной пиковой нагрузки.

В качестве характеристики битумного вяжущего взяли испытание на растяжимость при 0 °С с определением длины растяжения образцов, максимального усилия и работы на растяжение (площадь под графиком усилие-растяжение). Стандарт ГОСТ EN 13703-2013 позволяет рассчитать энергию деформации (разрушения), но фактически это невозможно, поскольку площадь сечения битумного вяжущего меняется существенно в процессе испытания в течение длительного времени. К тому же начальная площадь сечения у всех образцов битума одинаковая, что не повлияет на результат. Поэтому было принято решение использовать в качестве характеристики работу на растяжение битума, площадь под кривой нагрузка-растяжение.

Второй показатель, с которым проводилось сравнение трещиностойкости, это нижняя фактическая граница РГ. Марку РГ удалось определить не для всех вяжущих.

Отечественные и зарубежные исследования показывают, что показатель растяжимости битумного вяжущего имеет взаимосвязь с трещиностойкостью асфальтобетона. К тому же испытание на растяжение — это простой метод, который есть и используется практически во всех дорожно-строительных лабораториях РФ. Растяжимость при 0 °С присутствует в основных показателях

межгосударственного стандарта на битум ГОСТ 33133. Таким образом, в данной работе было уделено значительное внимание этому показателю. Кроме того, были различные попытки найти взаимосвязь с другими показателями, но они не принесли желаемого результата.

На графике (рис. 3) показана взаимосвязь энергии разрушения асфальтобетона на различных вяжущих и растяжимости битумного вяжущего при 0 °С и скорости 1 см/мин.

Как видно из графика, энергия разрушения имеет хорошую взаимосвязь с растяжимостью битумов. Выделя-

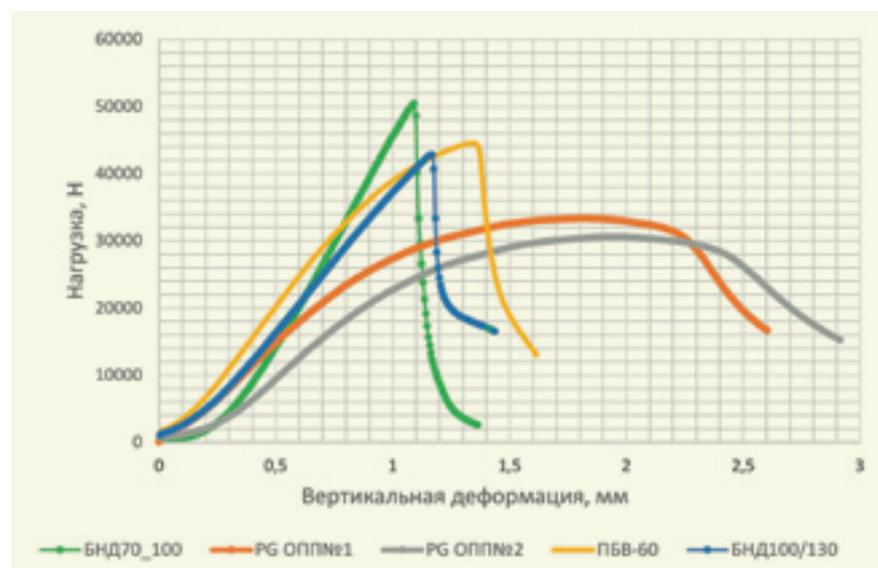


Рис. 2. Характерные кривые зависимости нагрузки от вертикальной деформации (вяжущие предоставлены компанией «Газпромнефть – Битумные материалы»)

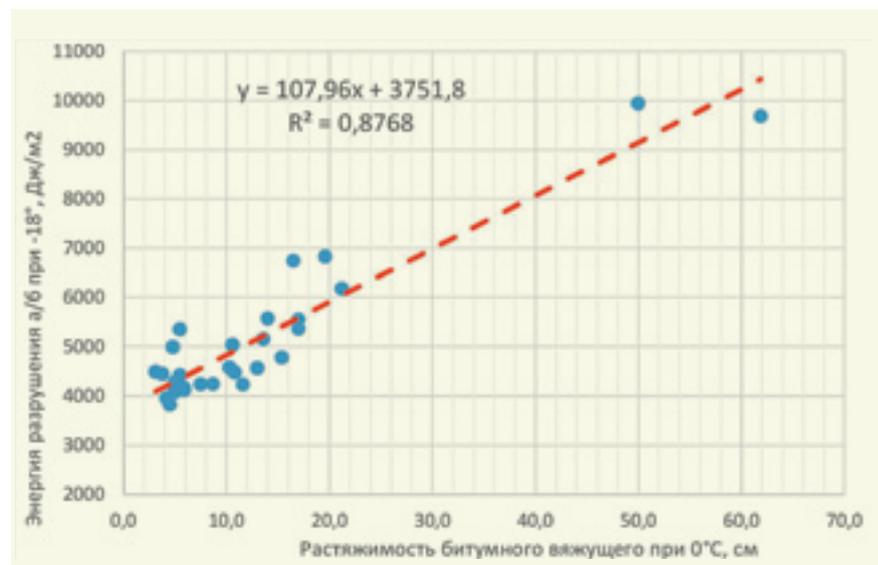


Рис. 3. График зависимости энергии разрушения асфальтобетона при минус 18 °С от растяжимости вяжущего при 0 °С

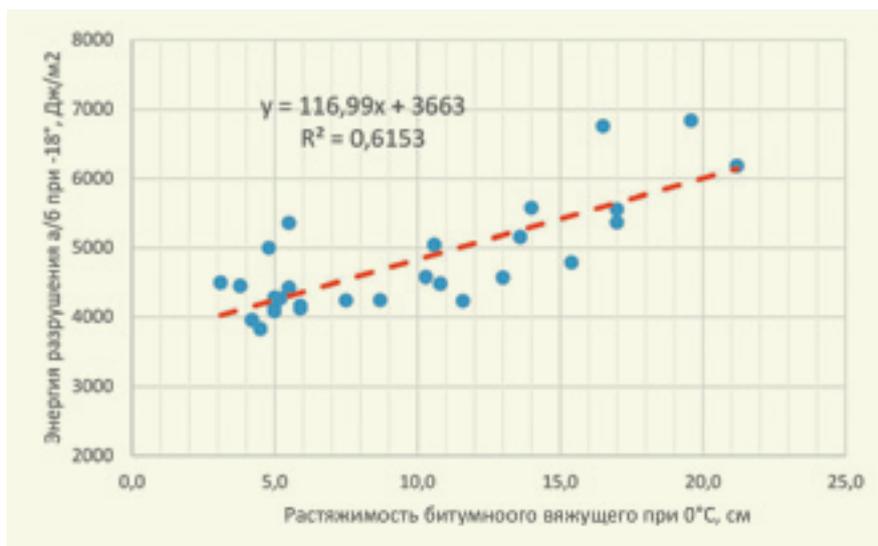


Рис. 4. График зависимости энергии разрушения асфальтобетона при минус 18 °С от растяжимости вяжущего при 0 °С без вяжущих PG с низкой маркой

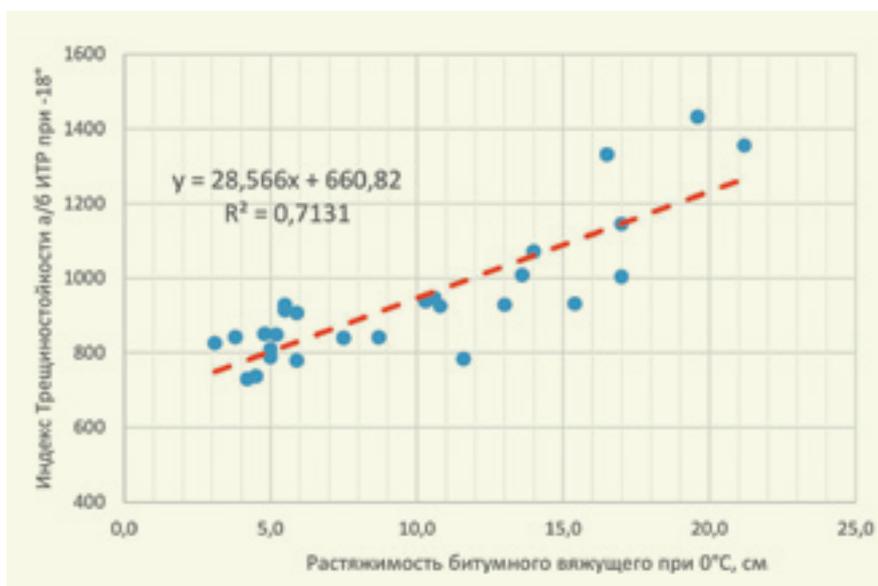


Рис. 5. График зависимости индекса трещиностойкости (ИТР) асфальтобетона при минус 18 °С от растяжимости вяжущего при 0 °С без вяжущих PG с низкой маркой

ются две точки — это два вяжущих с очень высокой растяжимостью при 0 °С и низкой маркой PG ниже минус 40 °С. Если убрать эти две точки, то тенденция, взаимосвязь сохранится, но с меньшей достоверностью (рис. 4). То есть при сужении диапазона по растяжимости будет наблюдаться снижение взаимосвязи, поскольку значения концентрируются вокруг малого, узкого интервала данных. Например, если взять данные по энергии разрушения для битумов марок БНД 50/70, БНД 70/100 и БНД 100/130, то вариация данных по энергии составит всего 4,6%. Поэтому нельзя рассматривать

данные на узком диапазоне. В то же время сохраняется общая тенденция, когда энергия разрушения для асфальтобетона на битуме БНД 100/130 выше, чем у асфальтобетона на битуме БНД 70/100 и БНД 50/70.

Энергия разрушения — это одна из основных составляющих приведенного в формуле 1 и 2 индекса  $STindex$ . Но есть еще одна немаловажная составляющая — это модуль, и если по энергии разрушения чем выше значения, тем лучше, то при отрицательных температурах чем выше модуль или жесткость асфальтобетона, тем хуже будет трещиностойкость. Высокий мо-

дуль асфальтобетона даже при малых деформациях будет приводить к возникновению больших внутренних напряжений, которые ведут к трещинообразованию. Фактически определить модуль при таких условиях испытания очень сложно и долго, но в процессе испытания мы определяем прочность при непрямом растяжении для асфальтобетона, которая в данном случае может использоваться как альтернатива для расчета. Если обратить внимание на рис. 2 с характерными кривыми, то из него видно, что чем выше прочность материала, тем более быстрое и хрупкое разрушение происходит. Чем больше значение максимального усилия, тем быстрее происходит спад нагрузки и образование трещины.

Деформация образца при разрушении уже учитывается при определении энергии, поэтому на данном этапе считаем, что применять ее значение повторно при расчете индекса трещиностойкости не имеет практического смысла. Таким образом, для оценки трещиностойкости асфальтобетона при отрицательной температуре можно предложить индекс трещиностойкости ИТР, рассчитываемый (формула 3):

$$ИТР = 1000 \cdot G_f / S, \quad (3)$$

где ИТР — индекс трещиностойкости;  $G_f$  — энергия разрушения (трещинообразования), Дж/м<sup>2</sup>;  $S$  — прочность при непрямом растяжении, кПа; 1000 — масштабирующий коэффициент для удобства расчета.

На рис. 5 приведен график зависимости индекса трещиностойкости и растяжимости битумного вяжущего, без двух вяжущих с очень низкой фактической маркой PG. Из анализа полученной зависимости видно улучшение величины достоверности в сравнении с данными, приведенными на рис. 4, на 16%. Индекс трещиностойкости увеличивается линейно при увеличении растяжимости битумного вяжущего. Значение индекса трещиностойкости для песчаного асфальтобетона на чистых битумах концентрируется в районе 800, а для модифицированных и полимер битумных вяжущих характерны более высокие значения в районе от

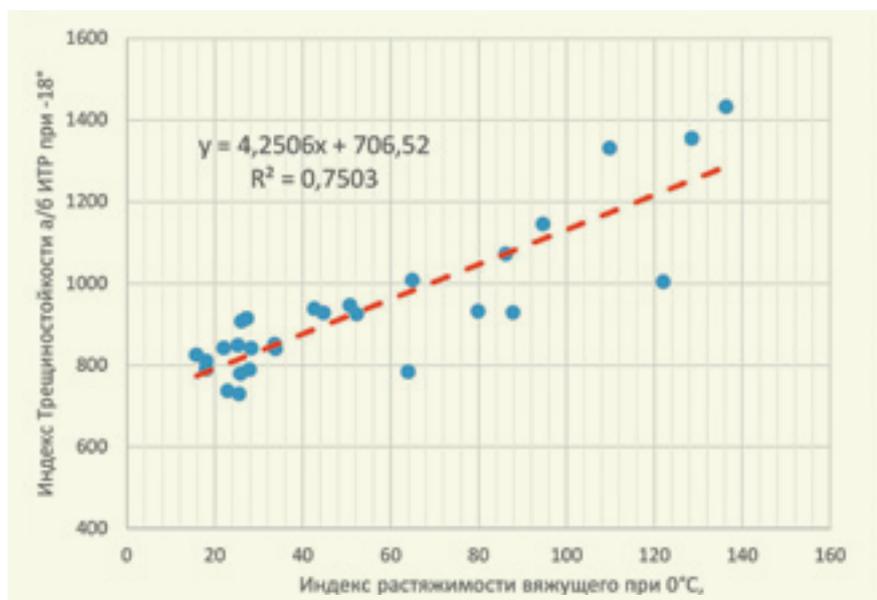


Рис. 6. График зависимости индекса трещиностойкости (ИТР) асфальтобетона при минус 18 °С от индекса растяжимости вяжущего при 0 °С (ИРА) без вяжущих PG с низкой маркой

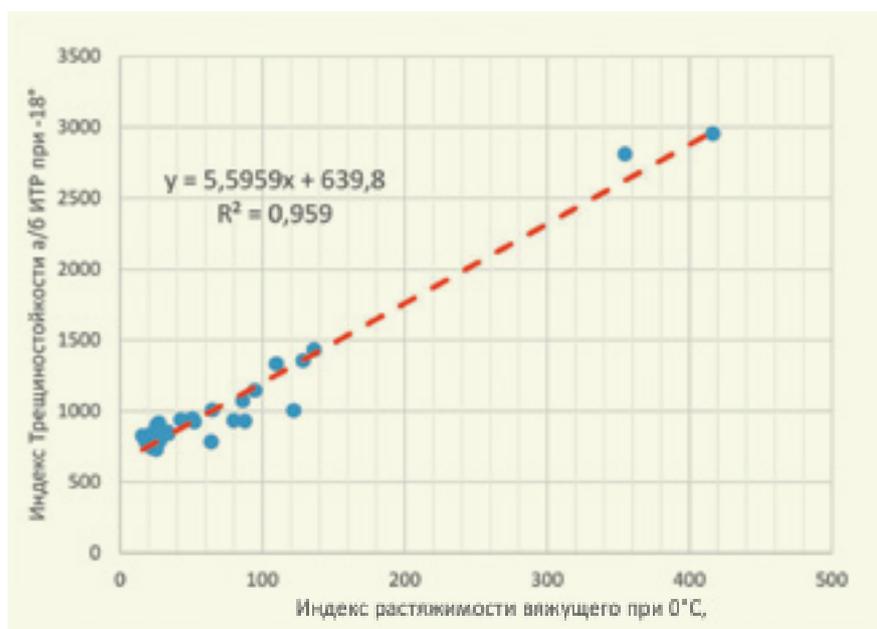


Рис. 7. График зависимости индекса трещиностойкости (ИТР) асфальтобетона при минус 18 °С от индекса растяжимости вяжущего при 0 °С (ИРА)

900 до 1400, но в целом, как показано на рис. 5, зависит от растяжимости.

При испытании битумного вяжущего на растяжение мы дополнительно определяли максимальное усилие при растяжении и работу (площадь под кривой усилие-растяжение). При анализе данных возник вопрос, возможно ли применение подхода аналогичного к индексу трещиностойкости асфальтобетона с определением индекса растяжимости. Чем выше работа на растяжение битумного вяжущего, тем

сильнее битум сопротивляется растягивающим деформациям и выше будет его когезионная прочность. С максимальным усилием будет обратная картина: чем выше усилие, тем жестче битум, тем сильнее будет его реакция на понижение температуры. При снижении температуры вырастет максимальное усилие и повысится хрупкость материала, а значит, чем ниже максимальное усилие при 0 °С, тем фактически лучше для трещиностойкости. Таким образом, мы можем рас-

считать индекс растяжимости битумного вяжущего (формула 4).

В результате был проведен расчет и построен график зависимости (рис. 6) индекса трещиностойкости (ИТР) от индекса растяжимости (ИРА).

$$ИРА = 1000 \cdot A_b / P_{max}, \quad (4)$$

где ИРА – индекс растяжимости битумного вяжущего;  $A_b$  – работа на растяжение битумного вяжущего (площадь под кривой усилие-растяжение), Н\*м;  $P_{max}$  – максимальное усилие при растяжении, Н.

Из графика, показанного на рис. 6, видно улучшение взаимосвязи между трещиностойкостью и свойствами битумных вяжущих через индексы трещиностойкости и растяжимости. В случае добавления в наш расчет битумных вяжущих с очень низкой маркой PG мы будем наблюдать существенное улучшение достоверности (рис. 7). В то же время остается возможность для дальнейшего проведения эксперимента и наработки статистики.

Таким образом, видно, что между растяжимостью битумного вяжущего, ее производными показателями существует взаимосвязь с показателем индекса трещиностойкости асфальтобетона. Есть ли у индекса трещиностойкости взаимосвязь с другими характеристиками битумного вяжущего? На рис. 8 приведен график зависимости индекса трещиностойкости с нижней границей марки PG. Как видно из графика, чем ниже фактическая марка вяжущего, тем выше индекс трещиностойкости, есть обратная взаимосвязь.

Еще одной важной проверкой являлось определение взаимосвязи индекса трещиностойкости и содержания битумного вяжущего. Были выбраны два битумных вяжущих БНД 70/100 и PG 70–28, на рис. 9 представлены полученные результаты. Как видно из полученных данных, есть прямая взаимосвязь между индексом трещиностойкости асфальтобетона и содержанием битумного вяжущего; с увеличением содержания битумного вяжущего происходит рост индекса трещиностойкости, при этом свойства самого вяжущего влияют на трещи-

нотой сильнее, чем увеличение содержания вяжущего.

Увеличение содержания битумного вяжущего на 2% дает прирост по индексу трещиностойкости примерно на 50%. За счет увеличения содержания битумного вяжущего можно существенно улучшить трещиностойкость, но при этом необходимо учитывать, что это может привести к снижению колееустойчивости. Это дает дополнительную возможность использовать комплексный подход к определению оптимального содержания битумного вяжущего. Колееустойчивость имеет обратную

зависимость: чем больше битумного вяжущего, тем ниже сдвигоустойчивость. Трещиностойкость имеет прямую зависимость: чем выше содержание битумного вяжущего, тем лучше трещиностойкость. В нашем случае оптимальным будет содержание вяжущего, при котором обеспечивается колееустойчивость при максимальной трещиностойкости.

Таким образом, в проведенном исследовании показана взаимосвязь между свойствами битумного вяжущего и предложенным индексом трещиностойкости асфальтобетона. Индекс трещиностойкости определяется

на отечественном оборудовании при минус 18 °С, не требует дополнительного оснащения лаборатории, является чувствительным и быстрым методом определения низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетона. Возможности использования индекса трещиностойкости позволяют:

- Сравнивать асфальтобетоны с различными вяжущими по трещиностойкости;
- Определять влияние различных модификаторов, добавок и вторичных материалов на низкотемпературные свойства асфальтобетона;
- Регулировать содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси для улучшения сопротивления растрескиванию;
- Выбирать оптимальное содержание битумного вяжущего;
- Проводить контроль качества по низкотемпературной трещиностойкости.

В дальнейшем планируем использовать индекс трещиностойкости (ИТР) при проведении испытаний асфальтобетона в текущей работе для наработки статистики и определения количественных характеристик для различных типов и видов асфальтобетонов.

**Колесник Д. А.,**  
руководитель НИЦ, АО «ВАД»;  
**Ефименко В. Е.,**  
ведущий инженер НИЦ, АО «ВАД»

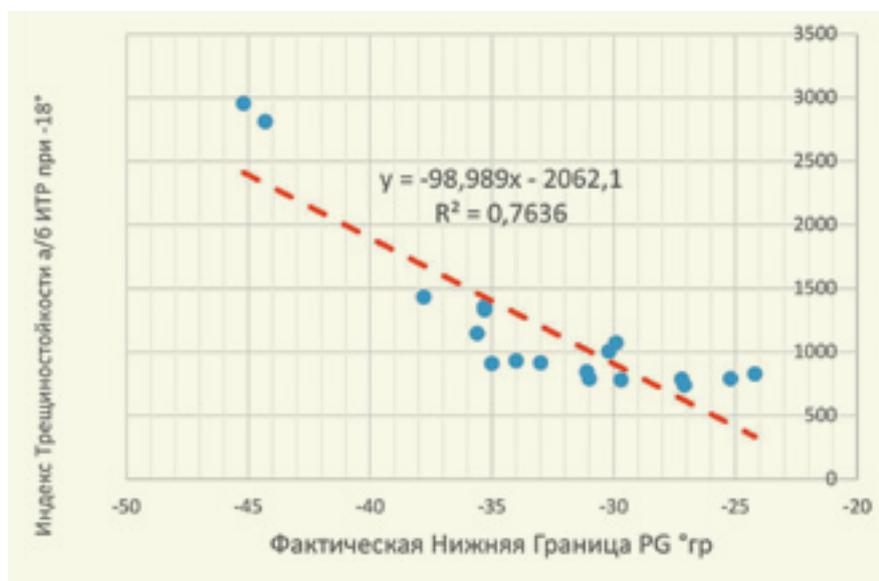


Рис. 8. График зависимости индекса трещиностойкости (ИТР) асфальтобетона при минус 18 °С от фактической нижней границы PG

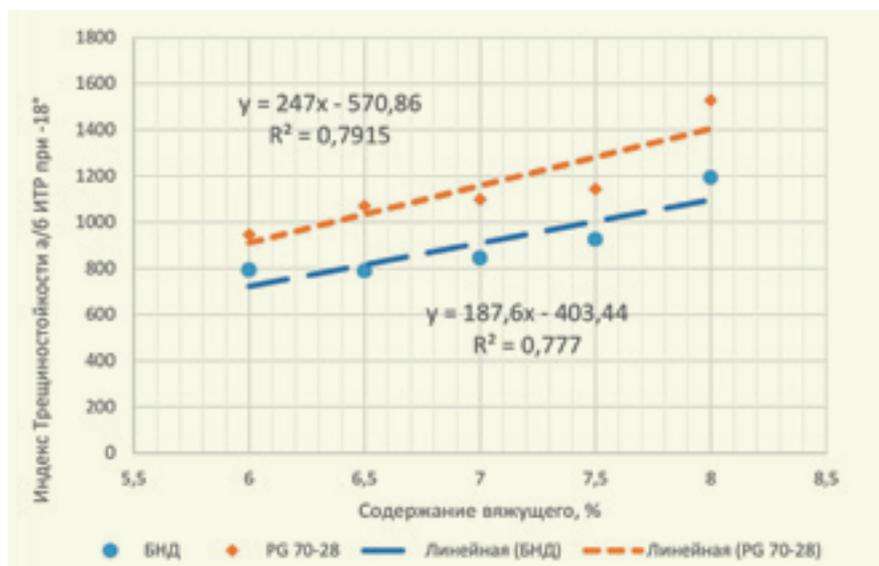


Рис. 9. График зависимости индекса трещиностойкости (ИТР) песчаного асфальтобетона при минус 18 °С от содержания битумного вяжущего

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колесник Д. А., Шапченко Д. В. Новые тенденции в области испытаний асфальтобетона. // Мир дорог. – 2018. – № 115. – С. 44–46. HYPERLINK "<https://zaovad.ru/upload/file/2021/05/17/kolesnik-shapchenko-mir-dorog-2018-115-s44-46.pdf>" pdf
2. Пахаренко Д. В., Колесник Д. А. Опытные экспериментальные работы ЗАО «ВАД». // Дорожная техника. – 2016. – № 1. – С. 28–35. HYPERLINK "<https://zaovad.ru/upload/file/2017/04/04/dt-2016-1-s28-35.pdf>" pdf