

Fig. 14. Unpolished C3-Sample, phase

Also the unpolished CNT-sample was examined. In one region, for example, an elongated structure was found, that is recognizable in the upper part of Fig. 15 and 16.

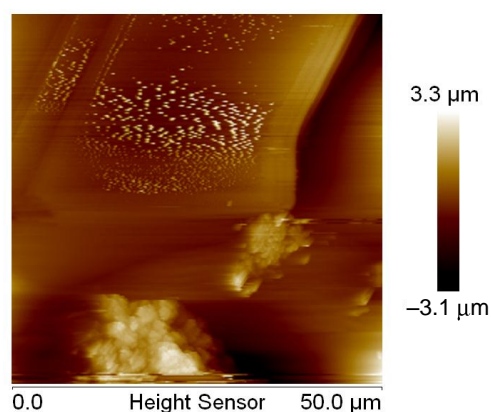


Fig. 15. Unpolished CNT-Sample, height graphic

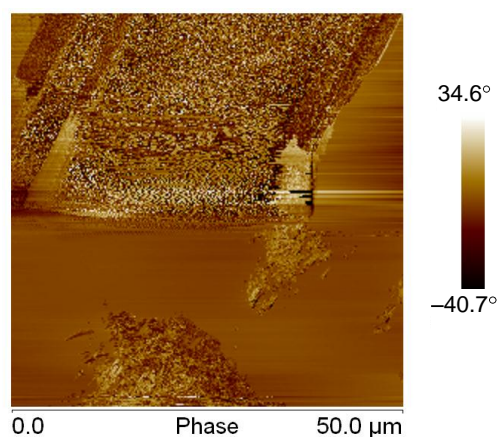


Fig. 16. Unpolished CNT-Sample, phase

## CONCLUSION

In the AFM images, structures of a size in the order of the nanotubes can be indicated. But due to the inhomogeneity of the material, a reliable identification does not seem possible. More or less the same applies for the test series with the Nanoindenter. A reliable statement of the effect of the Nanotubes on the elasticity and the hardness is not possible because of the high fluctuation of the elastic modulus and hardness.

Поступила 11.06.2013

УДК 626.86

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ДАМБ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЙ НА РЕКЕ ГОРЫНИ

Докт. техн. наук, проф. МИХНЕВИЧ Э. И.,  
канд. техн. наук, доц. БОГОСЛАВЧИК П. М., студ. ВОЛОДЬКО Е. А.

Белорусский национальный технический университет

В Беларуси последовательно осуществляется программа защиты территорий от наводнений в бассейне рек Припяти и Горыни. Особую

опасность возникновения катастрофических наводнений создает река Горынь. Она принадлежит к типу равнинных рек с преобладанием

снегового питания и характеризуется высоким весенним половодьем. Водосборная площадь р. Горыни в створе Давид-Городка составляет 27700 км<sup>2</sup>. Максимальный расход весеннего паводка 1%-й обеспеченности равен 3170 м<sup>3</sup>/с, летне-осеннего паводка 10%-й обеспеченности – 453 м<sup>3</sup>/с. Пропускная способность русла реки сравнительно небольшая и составляет 300–350 м<sup>3</sup>/с. Поэтому весенним половодьем затопляются десятки тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий, подтапливаются населенные пункты, расположенные в Столинском районе Брестской области. За период наблюдений (39 лет) пойма затопливалась слоем 0,75 м на протяжении 22 лет и более высоким уровнем (0,75–1,50 м) – 5 лет. Продолжительность половодий – от 1 до 2,5 месяца, а в среднем – 1,5 месяца. Летне-осенняя межень нарушается дождевыми паводками по 2–3 раза в сезон, а в дождливые годы – по 5–6 раз. Продолжительность паводков колеблется от нескольких дней до 1,5 месяца.

На первом этапе реализации программы защиты от наводнений выполнены инженерные мероприятия по защите от затопления Давид-Городка (проект «Белгипроводхоза», научное обоснование соавтора). В составе этих мероприятий построен перепуск «Хорск», включающий отрегулированное русло реки, и ограждающие дамбы. Параметры перепуска: длина – 4,7 км; средняя глубина – 5,85 м; ширина по дну – 50 м; коэффициент заложения откосов  $m = 4$ ; продольный уклон дна  $i = 0,0001$ . Пропускной расход весеннего паводка 1%-й обеспеченности по Хорскому перепуску  $Q = 2110$  м<sup>3</sup>/с. Ширина перепуска – 500 м. Длина ограждающих дамб – 14,3 км. Дамбы Хорского перепуска защищают от наводнений пять сельских населенных пунктов и Давид-Городок с населением 18,5 тыс. человек.

Реализация 1-й очереди противопаводковых мероприятий не решила в полной мере вопросы надежности защиты объектов Столинского района. Морфометрические условия сформированы таким образом, что при определенных отметках происходит перетекание части расхода р. Горыни в р. Льву и далее по системе водотоков в р. Припять. Построенный Хорский перепуск способен отводить часть стока р. Горыни в обход Давид-Городка с максимальным расходом  $Q = 2110$  м<sup>3</sup>/с. В естественном состо-

янии перетекание части вод р. Горыни по Хотомельскому направлению составляет 691 м<sup>3</sup>/с, а вниз по течению р. Горыни – 2479 м<sup>3</sup>/с, что на 369 м<sup>3</sup>/с больше расчетного расхода для Хорского перепуска.

Пропуск по Хорскому перепуску дополнительного к проектному паводкового расхода 369 м<sup>3</sup>/с не представляется возможным, так как это вызовет подъем уровней воды выше гребня дамб, увеличение расчетных скоростей паводковых вод на 10–14 % и создаст угрозу разрушения защитных дамб. Между тем перетекание части паводковых вод р. Горыни в поймы рек Львы, Моствы и Сдвиги вызывает подтопление ряда населенных пунктов: Хотомеля, Рубеля и других и затопление земель общей площадью 3250 га.

**Инженерные решения по защите территорий от наводнений.** Для того чтобы обеспечить проектный гидрологический режим Хорского перепуска в районе Давид-Городка и одновременно защитить от наводнений населенные пункты и земли по Хотомельской трассе прохождения паводковых вод, в настоящее время запроектированы и реализованы инженерные решения, предусматривающие бифуркацию части максимального стока р. Горыни в водосборы рек Львы, Моствы и Сдвиги в объеме 1066 м<sup>3</sup>/с путем сооружения на пойме р. Горыни направляющей (водоразделительной) дамбы длиной 4,6 км и создания зимнего (незатопливаемого) польдера «Хотомельский» площадью 3250 га, строительство которого обеспечивает одновременно защиту от паводков населенных пунктов Рубель и Хотомель. Длина ограждающей дамбы вдоль р. Горыни и д. Хотомель – 14,2 км. Направляющая дамба разделяет поток весеннего половодья 1%-й обеспеченности на две части: расход 1066 м<sup>3</sup>/с направляется на Хотомельский перепуск и 2104 м<sup>3</sup>/с – по р. Горыни на Хорский перепуск (рис. 1).

Устройство дамбы Хотомельского польдера сужает пойму р. Горыни в створе до 4 км, против 6 км в естественном виде, в результате чего происходит форсировка паводковых уровней воды в среднем на 0,18 м, что обеспечивает создание гидравлического уклона в направлении р. Львы и р. Сдвиги и определяет возможность пропуска паводковых расходов в указанном выше расчетном значении 1066 м<sup>3</sup>/с.

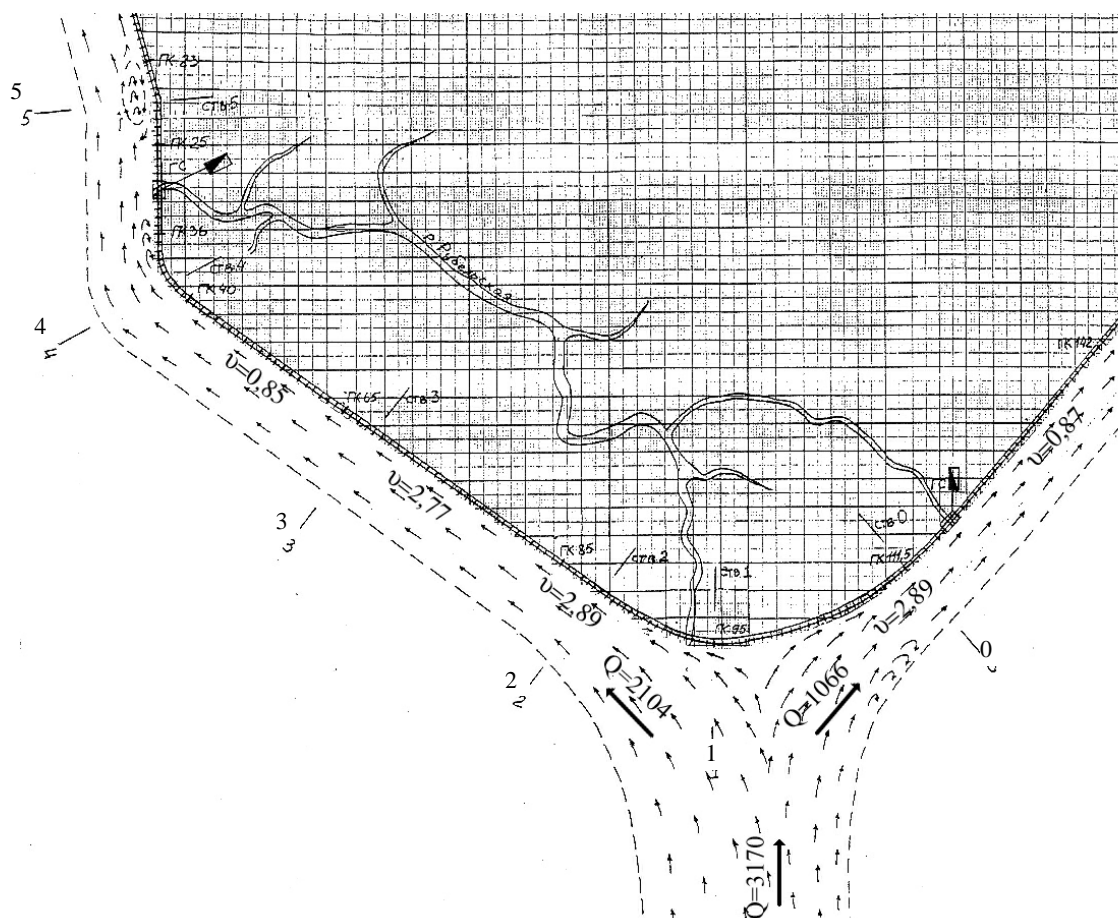


Рис. 1. Схема бифуркации максимального стока р. Горыни:  
 $v$  – скорость вдольберегового течения, м/с;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с

Таким образом, данные инженерные решения по устройству Хотомельского перепуска снимают критическую нагрузку на Хорский перепуск и создают условия для предотвращения катастрофических последствий, возникающих при пропуске паводков р. Горыни расчетных обеспеченностей для Давид-Городка, других населенных пунктов и объектов Столинского района.

**Защита откосов дамб от вдольбереговых течений.** Для надежной работы Хотомельского перепуска важным фактором является обеспечение устойчивости откосов дамб. Продольные скорости пойменного транзитного потока вдоль верхового откоса дамбы составляют 0,6–1,5 м/с. В наиболее сложных гидравлических условиях работает водораздельный участок дамбы. Здесь дополнительно возникают скорости вдольберегового течения, создаваемого косоподводящими волнами в прибойной зоне, и в результате суммарные скорости возрастают до 2,89 м/с.

Для обеспечения устойчивости и надежности работы дамб необходимо принимать такое расчетное значение средней скорости потока, при котором не будут происходить их размывы. Для определения допустимых на размыв скоростей для откоса использовали формулу Э. И. Михневича [1]. Она учитывает все основные физические и физико-механические свойства грунта. Формула имеет следующий вид:

$$v_{\text{доп}} = \alpha \left( \frac{R}{d} \right)^x \left( \frac{g \rho_1 d n_y h}{\rho_v h_{\text{от}}} \right)^{0,5} \times \left[ f^2 - \frac{1}{m^2} + \frac{c_p}{g \rho_1 d} \left( 2f + \frac{c_p}{g \rho_1 d} \right) \right]^{0,25}, \quad (1)$$

где  $R$  – гидравлический радиус, м;  $d$  – расчетный диаметр грунта, м;  $\rho_1$  – плотность грунта с учетом взвешивания его водой, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент внутреннего тре-

ния грунта в воде;  $c_p$  – удельное сцепление грунта при размыве в воде, Па;  $m$  – коэффициент заложения откоса;  $n_y$  – коэффициент условий работы, при содержании в потоке взвешенных наносов  $S \leq 0,1$  кг/м<sup>3</sup> принимают значение  $n_y = 1$ , а при  $S > 0,1$  кг/м<sup>3</sup>  $n_y = 1 + 2S$ ;  $h$  – глубина воды в русле, м;  $h_{от}$  – глубина от уреза воды до точки откоса, в которой определяется допускаемая скорость, м; для наиболее неустойчивой нижней зоны откоса принимают  $h_{от} = h$ .

Коэффициент  $\alpha$  и показатель степени  $x$  учитывают характер гидравлических сопротивлений и структуру потока, их значения принимают в зависимости от стадии движения наносов:

$\alpha = 2,06$ ;  $x = 0,167$  – для стадии начала влечения отдельных зерен грунта;

$\alpha = 3,16$ ;  $x = 0,14$  – для стадии начала образования гряд;

$\alpha = 5,96$ ;  $x = 0,10$  – для начала взвешивания грунта.

Из зависимости (1) получена формула (2) для определения расчетного диаметра  $D$  материала пригрузки (наброски) откосов, для которой за расчетную принимается стадия начала влечения отдельных частиц [2]. Учитывая, что удельное сцепление материала наброски  $c_p = 0$ , а коэффициент условий работы при содержании в потоке наносов менее 0,1 кг/м<sup>3</sup>,  $n_y = 1$ , формула (2) имеет вид

$$D = \frac{K_3 v^3}{8,74 R^{0,5} (g \rho_1 / \rho_B)^{1,5} (f_n^2 - 1/m^2)^{0,75}}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость течения воды, м/с;  $f_n$  – коэффициент внутреннего трения материала пригрузки в воде, принимается равным 0,8–0,9 для гравия и мелкого щебня;  $f_n = 1$  – для камня и крупных сортированных фракций щебня;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения наброски на откосе, принимаемый равным  $1 + 0,3\sqrt{h}$  ( $h$  – высота крепления, м).

По формуле (2) рассчитано крепление откосов каменной наброской на водоразделяющем участке дамбы (с ПК 82 по ПК 115). Для этого участка скорость  $v = 2,89$  м/с;  $R = h = 2,9$  м;  $m = 3$ ;  $\rho_1/\rho_B = 1$ . Тогда диаметр частиц наброски будет равен

$$D = \frac{1,5 \cdot 2,89^3}{8,74 \cdot 2,9^{0,5} (9,81)^{1,5} (1 - 1/3^2)^{0,75}} = 0,09 \text{ м.}$$

Содержание частиц с расчетным диаметром  $D$  должно быть в наброске не менее 50 % по массе, а ее толщина – не менее  $3D$ .

В качестве альтернативы рассмотрено крепление откосов использованными автомобильными покрышками, которые укладываются на поверхности откоса с заполнением каменной наброской. В этом случае диаметр наброски можно рассчитывать для стадии начала взвешивания грунта, а не для стадии начала влечения отдельных частиц.

Формула (1) для определения допускаемой скорости для стадии начала взвешивания несвязного грунта имеет вид

$$v_{доп} = 5,96 \left( \frac{R}{d} \right)^{0,1} \left( \frac{g \rho_1 d}{\rho_B} \right)^{0,5} \left[ f_n^2 - \frac{1}{m^2} \right]^{0,25}. \quad (3)$$

Тогда формула для расчета диаметра частиц наброски, которая укладывается внутрь автомобильных покрышек и в пространстве между ними, принимает вид

$$D = \frac{K_3 v^{2,5}}{86,72 R^{0,25} (g \rho_1 / \rho_B)^{1,25} (f_n^2 - 1/m^2)^{0,625}}. \quad (4)$$

Подставляя значения параметров, входящих в формулу (4), получаем:

$$D = \frac{1,5 \cdot 2,89^{2,5}}{86,72 \cdot 2,9^{0,25} 9,81^{1,25} (0,8^2 - 1/3^2)^{0,625}} = 0,014 \text{ м.}$$

Для данного вида крепления диаметр в 6,4 раза меньше, чем для камня, укладываемого по откосу без применения шин. В таком креплении не требуется крупный сортированный камень, а может быть использован обычный гравий или щебень, что снижает стоимость креплений примерно в 1,5–1,8 раза.

На прямолинейных участках дамбы скорости не превышают значений 0,6–0,8 м/с, защита откосов обеспечивается здесь посевом трав, т. е. созданием дернового покрова.

#### Защита откосов дамб от воздействия волн.

Кроме размывающего действия потока, на откосы водоразделительного участка дамбы воздействуют также волны, возникающие на экватории затапливаемой поймы в междуречье р. Горыни – р. Сдвиги. Здесь длина разгона волн может достигать 4–5 км.

Для расчета диаметра каменной наброски, защищающей откос на участке, подверженном волновому воздействию, чаще всего используются формулы (5) и (6). Формула (5) имеет вид [3]

$$D_{ш} = \sqrt[3]{\frac{M}{0,524\rho_k}}, \quad (5)$$

где

$$M = \frac{0,079\rho_k h_{1\%}^3}{\left(\frac{\rho_k}{\rho_b} - 1\right)^3 \sqrt{1+m^3}} \sqrt{\frac{\lambda}{h_{1\%}}},$$

где  $\rho_k, \rho_b$  – плотность камня и воды, т/м<sup>3</sup>;  $\lambda, h_{1\%}$  – длина и высота расчетной волны, м;  $M$  – масса камня, т.

Для участка дамбы, подверженной наиболее сильному волновому воздействию, расчетная волна имеет следующие параметры: длина волны  $\lambda = 15$  м; высота волны 1%-й обеспеченности –  $h_{1\%} = 0,72$  м.

Подставив расчетные значения параметров волны при  $\rho_k = 2,65$  т/м<sup>3</sup> и  $\rho_b = 1$  т/м<sup>3</sup>, получим:

$$M = \frac{0,079 \cdot 2,65 \cdot 0,72^3}{\left(\frac{2,65}{1} - 1\right)^3 \sqrt{1+3^3}} \sqrt{\frac{15}{0,72}} = 0,015 \text{ т};$$

$$D_{ш} = \sqrt[3]{\frac{0,015}{0,524 \cdot 2,65}} = 0,22 \text{ м}.$$

Формула (6) имеет вид [4]

$$D_6 = 1,5Ch_{1\%} \left( \frac{\sqrt[3]{m_{h1\%}}}{m} + 0,5 \right) \frac{m+1,8}{1,8m-1} \frac{\gamma_a}{\gamma_k - \gamma_a}, \quad (6)$$

где  $C$  – гидравлический коэффициент сопротивления, принимаемый равным 0,2 при диаметре камня более 0,15 м и высоте волны более 0,5 м;  $m_{h1\%}$  – пологость волны 1%-й обеспеченности, принимаемая для водохранилищ равной 7;  $\gamma_a$  – удельный вес азрированной воды, стекающей с наброски в конце отката волны, принимаемый равным 10 кН/м<sup>3</sup>;  $\gamma_k$  – удельный вес камня, который можно принять 26,5 кН/м<sup>3</sup>.

Подставив в формулу (6) указанные выше значения параметров, получим

$$D_6 = 1,5 \cdot 0,2 \cdot 0,72 \left( \frac{\sqrt[3]{7}}{3} + 0,5 \right) \times \frac{3+1,8}{1,8 \cdot 3 - 1} \frac{10}{26,5 - 10} = 0,164 \text{ м}.$$

Выполненные результаты расчета по устойчивости откосов к волновым воздействиям показали, что для их защиты требуется камень большого диаметра, при самом минимальном 0,16 м толщина наброски  $3D = 0,48$  м, что приведет к большой стоимости крепления. Поэтому и в данном случае было бы целесообразно применение утильных шин с заполнением их наброской. Специальные исследования по устойчивости таких креплений к волновым воздействиям не проводили. Однако можно предположить, что соотношение между крупностью частиц при сплошном покрытии откосов и при использовании шин может быть принято таким же, как и при защите откосов от размыва, где соотношение между значениями диаметра для указанных выше расчетных стадий равно 6,4 раза. Тогда необходимый диаметр частиц для заполнения шин составит 0,025 м.

В качестве альтернативного варианта снижения стоимости крепления откосов от волнового воздействия предложена конструкция волногасящей дамбочки ( $H = 1$  м,  $m = 3$ ), сооружаемой вдоль основной дамбы, с покрытием ее каменной наброской и посадкой кустарниковой растительности. Такая конструкция крепления реализована на данном объекте.

## ВЫВОДЫ

1. Инженерные решения по бифуркации части максимального стока р. Горыни в водосборных рек Львы, Моствы и Сдвиги путем сооружения водоразделительной дамбы и создания польдера обеспечивают защиту населенных пунктов и сельскохозяйственных территорий от затопления и предотвращают катастрофические наводнения в период прохождения половодий и паводков в бассейне р. Горыни.

2. Для определения расчетного диаметра частиц каменной наброски откосов при воздействии на них вдольбереговых течений предлагается формула (2), полученная из зависимости (1) для допускаемых скоростей на размыв

откосов, исходя из стадии начала подвижки отдельных частиц, а для крупнозернистого материала, укладываемого в отработанные автомобильные шины, – формула (4), исходя из стадии начала взвешивания частиц.

3. Для защиты откосов от действия волн диаметр частиц каменной наброски, рассчитанный по существующим формулам (5) и (6), имеет большие значения (0,16–0,22 м), и стоимость такого крепления откосов дамб (толщиной  $3D$ ) становится значительной. Поэтому менее дорогостоящим является обеспечение устойчивости откосов дамб к действию волн путем сооружения вдоль основной дамбы волногасящей дамбочки (высотой до 1 м) с покрытием ее каменной наброской и посадкой ку-

старниковой растительности, что фактически реализовано при сооружении противопаводковой дамбы в пойме р. Горыни.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Михневич, Э. И.** Определение допускаемых скоростей течения воды в каналах / Э. И. Михневич // Гидротехническое строительство. – 1989. – № 1. – С. 14–18.

2. **Михневич, Э. И.** Методика проектирования креплений каналов на основе эпюр распределения скоростей по ширине русла / Э. И. Михневич // Вестник БНТУ. – 2009. – № 5. – С. 5–8.

3. **Гидротехнические** сооружения комплексных гидрозлов: учеб. пособие / П. М. Богославчик [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Круглова. – Минск: БНТУ, 2006. – 585 с.

Поступила 13.02.2013

УДК 665.7.06:66.02:622.33; 699.82 (035.5)

## ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА ПОЛУЧЕНИЯ УГОЛЬНОГО ТЕРМОПЛАСТИФИКАТА – КОМПОНЕНТА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д., канд. техн. наук, доц. ЛЯХЕВИЧ А. Г.*

*Белорусский национальный технический университет*

Среди всех природных ресурсов сырья органического происхождения запасы углей и горючих сланцев наибольшие. Их доля в балансе естественных органических материалов значительно превышает долю нефти, горючих газов, древесины и других и составляет более 80 % от запасов всего органического сырья. В этой связи твердые горючие ископаемые – горючие сланцы, каменные, бурые, сапропелитовые, кеннельские угли, торф являются неисчерпаемым источником сырья для получения вяжущих, мастик, бетонов и, прежде всего, асфальтобетонов, аглопорита, гидроизоляционных и многих других строительных материалов [1].

Целью исследования авторов является разработка технологии получения из бурых углей угольного термопластификата, используемого для приготовления гидроизоляционных мате-

риалов, применяемых для защиты конструкций мостов и тоннелей.

**Технология получения угольного термопластификата.** Для разработки технологии получения термопластификата использовался канско-ачинский бурый уголь с характеристиками:

- технический анализ, % мас.: влага  $W^d$  0,81; зола  $A^c$  9,06; сера  $S^a_{\text{общ}}$  0,85, летучие  $V^r$  69,84;

- элементный анализ, % мас.: углерод  $C^r$  64,35; водород  $H^r$  5,46; сера  $S^r_{\text{орг}}$  0,32; азот  $N^r$  1,83; кислород  $O^r$  28,04.

Исследования проводили на установке, обеспечивающей осуществление процесса в углеводородной среде при небольшом повышенном давлении в температурном интервале  $((350–360) \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.