

УДК 622.234.42:504.06

В. К. БАГАЗЕЕВ, Н. Г. ВАЛИЕВ, Р. А. АПАКАШЕВ (УГГУ)

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ЭКРАНА ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ*



В. К. БАГАЗЕЕВ,
проф.,
д-р техн. наук



Н. Г. ВАЛИЕВ,
проректор
по научной работе,
проф., д-р техн. наук



Р. А. АПАКАШЕВ,
проф.,
д-р хим. наук

Рассматривается механическая прочность полиэтиленового экрана в основании штабеля кучного выщелачивания. Объем утечек раствора обосновывается как расход жидкости в водопоглощающей скважине. Приводятся расчетные формулы, сравнение расчетных значений показателей с нормативными данными.

Ключевые слова: кучное выщелачивание, экологическая безопасность, гидроизоляция, полиэтиленовый экран, толщина пленки, объем возможной утечки выщелачивающего раствора, расчетные формулы.

Кучное выщелачивание является перспективным направлением увеличения добычи золота. Однако это экологически опасное производство, связанное с использованием растворов цианидов. Поэтому основание штабеля должно обеспечить эффективный сбор просочившегося через штабель выщелачивающего раствора и полную гидроизоляцию штабеля от окружающих пород. Для гидроизоляции создают противofильтрационный экран. Теоретически противofильтрационные экраны из полиэтиленовой пленки водонепроницаемы. Однако при производстве работ возможны механическое повреждение пленки и утечка выщелачивающего раствора.

Строительными нормами (СН-551-82) для противofильтрационных устройств из полиэтиленовой пленки с защитным слоем из песчаных грунтов крупностью до 2 мм при напорах воды в накопителях до 5 м рекомендуется пленка толщиной 0,2 мм. При большей крупности частиц песчаного грунта толщина пленки определяется по формуле

$$\delta_1 = 0,1d_{\text{зep}} \cdot q / K_n, \quad (1)$$

где δ_1 — толщина пленки, мм; $d_{\text{зep}}$ — максимальный размер зерна грунта защитного слоя, мм; q — нагрузка на экран от выщелачиваемого сырья, транспортных

и уплотняющих механизмов, раствора, дренажного слоя); K_n — коэффициент, учитывающий действие дополнительных защитных прокладок (при их отсутствии $K_n = 1$).

При увеличении вертикальной нагрузки от выщелачивающего массива защитный слой уплотняется за счет внедрения частиц в поры грунта, при этом возможен срез пленки, а на контакте двух частиц грунта возможно ее продавливание.

Объем утечки раствора зависит от формы и размеров повреждений. В работе [1] предложена методика расчета фильтрационного расхода через пленочный экран по величине фиктивного коэффициента фильтрации грунта $K_{\text{ф}}$, под которым понимается коэффициент, эквивалентный коэффициенту фильтрации через поврежденный экран:

$$K_{\text{ф}} = \eta K_r; \quad \eta = q_{\text{п.э}} / q_{\text{г.э}}. \quad (2)$$

где K_r — действительный коэффициент фильтрации грунта, уложенного над пленкой; η — коэффициент эффективности пленочного экрана; $q_{\text{п.э}}$ — расход через пленочный экран при наличии в нем щелей или отдельных круглых отверстий; $q_{\text{г.э}}$ — расход через такой же по площади и высоте грунтовой экран без пленки.

Таким образом, процесс прохождения фильтрационного потока через отдельные отверстия заменяется равномерной вертикальной фильтрацией по всей площади экрана, а объем утечек размещается в порах фиктивного (эквивалентного) слоя глины (обычно принимаемая в расчетах толщина слоя составляет 1 м).

Задача настоящего исследования — оценка механической прочности полиэтиленового экрана и расчет объема утечек раствора в основании штабеля кучного выщелачивания.

Для решения поставленной задачи на основании теоретических построений и расчетов получены зависимости толщины полиэтиленовой пленки от нагрузки на подстилающий слой штабеля:

$$\delta_{\text{cp}} = 0,23d_{\text{зep}} [(q_{\text{шт}} / \sigma_{\text{cp}}) + 0,16]; \quad \delta_{\text{cm}} = d_{\text{зep}} [1 + \sqrt{1 - (q_{\text{шт}} / \sigma_{\text{cm}})}], \quad (3)$$

где δ_{cp} , δ_{cm} — толщина пленки по условиям ее среза и смятия, мм;

* Работа выполнена по заданию № 2014/235 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности.

© Багазеев В. К., Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., 2014



Таблица. 1. Сравнения расчетных значений толщины полиэтиленовой пленки ($\sigma_p = 1$ МПа; $\sigma_{см} = 2$ МПа; $q_{шт} = 0,22$ МПа; $H_{шт} = 12$ м; $\rho = 1800$ кг/м³)

Расчетные значения	Размер зерна песчаного грунта $d_{зпр}$, мм			
δ_1	0,044	0,066	0,088	0,11
$\delta_{ср}$	0,12	0,26	0,35	0,44
$\delta_{см}$	0,12	0,18	0,24	0,3

$q_{шт} = \rho_p h g H_{шт} \cdot 10^{-6} = \gamma_p H_{шт} \cdot 10^{-6}$ — нагрузка на подстилающий слой штабеля, МПа; ρ_p — плотность руды, кг/м³; γ_p — удельный вес руды, Н/м³; g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²); $H_{шт}$ — высота штабеля, м; $\sigma_{ср}$, $\sigma_{см}$ — допускаемые напряжения на срез и на смятие пленки, МПа.

По результатам испытаний прочность полиэтиленовой пленки на срез составила 8,7–11,8 МПа, что соответствует значениям предела текучести по ГОСТ 10354-82, прочность на смятие — 16 МПа, что в 1,2 раза выше прочности на сжатие (по справочным данным — 12–13 МПа). В табл. 1 приведено сравнение толщины пленки δ_1 , рассчитанной по формулам инструктивных материалов, и $\delta_{ср}$, $\delta_{см}$ по формуле (3).

По результатам вычислений необходимая толщина пленки по условиям допускаемого напряжения на срез (разрыв) превышает толщину по инструктивным материалам [1] в 4 раза, по условию допускаемого напряжения на смятие (сжатие) — в 2,7 раза.

Для обоснования расчета объема протечек раствора через повреждения (отверстия) в полиэтиленовом экране воспользуемся решением задачи определения расхода промышленных стоков через поглощающие скважины [2].

Принимаются следующие функциональные соответствия (рис. 1, 2): мощность безнапорного водоносного горизонта равна мощности потока раствора над полиэтиленовым экраном — H_n , м; высота пониженного уровня — высота потока над отверстием в пленке — h , м; коэффициент урнепроводности безнапорного пласта — коэффициент урнепроводности дренажного слоя над полиэтиленовой пленкой $a = k_d H_n / \mu$, где k_d — коэффициент фильтрации грунта, м/сут; μ — коэффициент водоотдачи; поглощающий слой — слой предохранительного материала (песка) под полиэтиленовой пленкой; параметры скважины (соответствуют параметрам отверстий): r_c — радиус, м; R — радиус влияния, м; n — число скважин; r_k — приведенный радиус контура, м.

Расчет утечек раствора через отверстия пленочного экрана принимаем по аналогии с расчетом расхода промышленных стоков в водопоглощающей скважине по формулам [3]:

$$Q_1 = \frac{1/36k(H_n^2 - h^2)}{\lg R - \lg r_c}; Q_{сум} = \frac{2,73kH_n^2}{\lg(1,5\sqrt{aT}/r_k) + 1/n[\lg(r_k/r_c)]}, \quad (4)$$

где Q_1 — расход утечек раствора через одиночное отверстие, м³/сут; $Q_{сум}$ — расход утечек раствора через линейный ряд отверстий, м³/сут; T — время утечки раствора, сут.

Исходные данные для расчета принимаются по технологическим параметрам кучного выщелачивания.

Мощность потока раствора над полиэтиленовым экраном H_n определяется в зависимости от интенсивности орошения штабеля кучного выщелачивания ω_p (м³/сут на 1 м² площади штабеля), интенсивности дождя ω_d (м³/сут на 1 м² поверхности), мощности защитного и дренажного слоев (см. рис. 2). Высота слоя рассчитывается по формуле

$$H_n = (h_{шт} + h_d + h_3) / k_{шт}, \quad (5)$$

где $h_{шт}$ — часть дренажного слоя в пределах рудного штабеля, м; h_d , h_3 — толщина дренажного и защитного слоев над пленкой, м; $k_{шт}$ — коэффициент фильтрации руды в штабеле, м/сут.

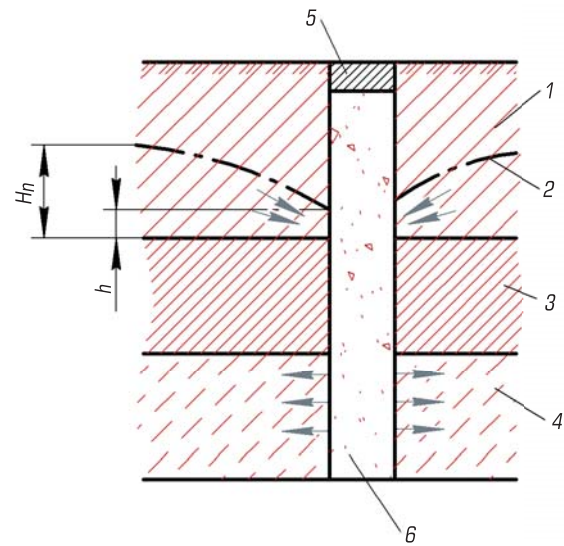


Рис. 1. Схема поглощающей скважины :

- 1 — осушаемый слой; 2 — уровень грунтовых вод;
- 3 — слабопроницаемый слой; 4 — поглощающий слой;
- 5 — глиняный замок; 6 — песчано-гравийная засыпка

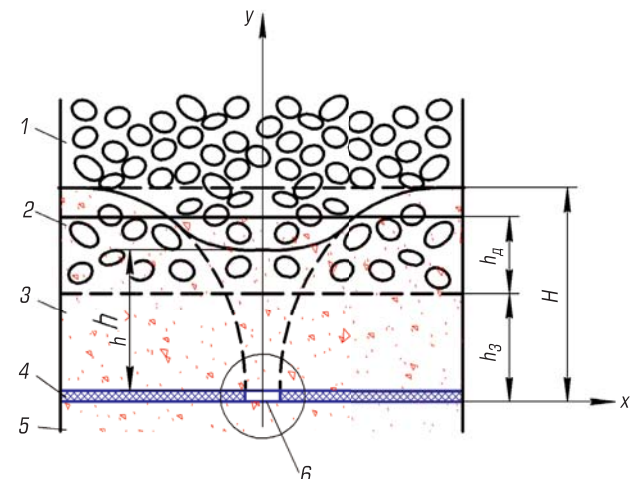


Рис. 2. Схема отверстия в полиэтиленовой пленке экрана :

- 1 — штабель руды; 2 — дренажный слой; 3 — защитные слои;
- 4 — полиэтиленовая пленка; 5 — отверстие в пленке



Расход дренажного потока шириной 1 м (по длине штабеля)
 $W_1 = (\omega_p + \omega_d)B_0;$ (6)

часть потока в пределах дренажного слоя
 $W_d = h_d^2 k_d / 2B_0;$ (7)

в пределах защитного слоя
 $W_3 = h_3^2 k_3 / 2B_0;$ (8)

в пределах рудного штабеля
 $W_{шт} = W_1 - W_d - W_3.$ (9)

Высота потока в пределах рудного штабеля
 $h_{шт} = \sqrt{(2B_0 W_{шт}) / k_{шт}},$ (10)

где B_0 — ширина основания штабеля, м; k_d, k_3 — коэффициенты фильтрации грунта дренажного и защитного слоев соответственно, м/сут.

Время утечки раствора T (сут) принимается равным времени выщелачивания.

Радиус влияния одного отверстия, м:
 $R_r = \sqrt{6H_p k_d T / \mu},$ (11)

где $\mu = 0,15 \div 0,28$ для мелкого, среднего и гравелистого песка.

Приведенный радиус контура пленочного экрана, м:
 $r_k = P / 2\pi,$ (12)

где $P = 2(L + B_0)$ — периметр основания штабеля, м; L — длина штабеля, м.

Размер отверстий поврежденных принимается равным максимальному диаметру d частиц грунта защитного слоя $r_c = d/2$. Число отверстий определяется в зависимости от содержания частиц максимальной крупности.

В настоящей работе рассчитана утечка раствора через отверстия полиэтиленового экрана двумя методами — по величине эквивалентного (фиктивного) слоя глины мощностью 1 м и по аналогии с расчетом расхода в водопоглощающей скважине.

По результатам расчетов утечка раствора q_1 через единичное отверстие, приходящееся на 1 м² пленочного экрана, по аналогии с расходом в водопоглощающей скважине составляет $q_1 = 1,31 \cdot 10^{-3}$ м³/(сут·м²), а при эквивалентной замене на слой глины мощностью 1 м $q_1 = 1,65 \cdot 10^{-6}$ м³/(сут·м²). Расхождение значений достигает тысячи раз и более.

Поэтому в целях экологической безопасности для повышения надежности расчетов на основе гидромеханического обоснования прочности и водопроницаемости полиэтиленового экрана может быть рекомендовано определение необходимой толщины пленки по условиям допускаемого напряжения на срез (разрыв), а также расчет возможной утечки раствора по аналогии с расчетом расхода воды в водопоглощающей скважине.

Библиографический список

1. Недрига В. П. Инженерная защита подземных вод от загрязнений промышленными стоками — М. : Стройиздат, 1975. — 95 с.
2. Боcheвер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. — М. : Недра, 1972. — 129 с.
3. Справочное руководство гидрогеолога / под ред. В. М. Максимова. — Л. : Недра, 1979. — Т. 2. — 360 с. **ГЖ**

Багазеев Виктор Константинович,
e-mail: rmos.dep@ursmu.ru
Валиев Нияз Гадым-оглы,
e-mail: science@ursmu.ru
Апакашев Рафаил Абдрахманович,
e-mail: parknedra@yandex.ru

HYDROMECHANICAL SUBSTANTIATION OF STRENGTH AND WATER IMPERMEABILITY OF POLYETHYLENE SCREEN DURING HEAP LEACHING

Bagazaev V. K.¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, e-mail: rmos.dep@ursmu.ru

Valiev N. G.¹, Principal for Science, Professor, Doctor of Engineering Sciences,

Apakashev R. A.¹, Professor, Doctor of Chemical Sciences

¹ Ural State Mining University (Ekaterinburg, Russia)

Under consideration is mechanical strength and water impermeability of polyethylene film in the impervious screen at the bottom of gold heap leaching stockpile. The screen is designed for efficient gathering of leaching solution and ecological safety control owing to maximum waterproofing of the stockpile bottom. Construction standards for impervious installations made of polyethylene films involve a protective layer made of sandy soil. Theoretically, impervious screens made of polyethylene film are waterproof. However, under increased vertical load generated by a leaching mass, the protective layer is compacted, and shearing-off or forcing-through of the film is possible where two soil particles contact. Based on theoretical considerations and computations, the article gives relationships of the required thickness of polyethylene film by the conditions of cut and crumple versus the load applied to the underlying layer of the stockpile. Amount of potential leaks of leaching solution in the film damages is validated. The solution leaks through the film screen are calculated by analogy with the computation of industrial effluent flow in a hydroscopic hole. The article presents the calculating formulas and compares the calculated strength of the film with the standard values. Aiming at ecological safety and higher reliability of the calculations based on hydromechanical substantiation of strength and water impermeability of the polyethylene screen, it is recommended to estimate the required thickness of the film by the allowable tangential shearing stress and to calculate potential leaks of leaching solution by analogy with the calculation of water flow in a hydroscopic hole.

Keywords: compact leaching, ecological safety, waterproofing, polyethylene screen, film thickness, volume of possible leakage of the lixivating solution, settlement formulas.

REFERENCES

1. Nedriga V. P. *Inzhenernaya zashchita podzemnykh vod ot zagryazneniy promyshlennymi stokami* (Engineering protection of underground waters from industrial discharges contamination). Moscow : Stroyizdat, 1975, 95 p.
2. Bochever F. M., Oradovskaya A. E. *Gidrogeologicheskoe obosnovanie zashchity podzemnykh vod i vodozaborov ot zagryazneniy* (Hydrogeological substantiation of protection of underground waters and water intakes from contaminations). Moscow : Nedra, 1972, 129 p.
3. *Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa* (Reference book of hydrogeologist). Under the editorship of V. M. Maksimov. Leningrad : Nedra, 1979, Vol. 2, 360 p.