

УДК 622.834.53

А.О. Киселев, Д.А. Самодуров

A.O. Kiselev, D.A. Samodurov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ ОСЕДАНИЙ
ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЙОНЕ
2СЗП 2 ЗАПАДНОГО БЛОКА БАЛАХОНЦЕВСКОГО
И ПАЛАШЕРСКОГО УЧАСТКА ВКМКС УСОЛЬСКОГО
КАЛИЙНОГО КОМБИНАТА
ООО «МИНЕРАЛЬНО-ХИМИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ ЕВРОХИМ»**

**DETERMINATION OF FORECAST SEDIMENTATION OF THE
GROUND SURFACE IN REGION 2 OF THE NORTHWESTERN
PANEL 2 WESTERN BLOCKS OF BALAKHONTSEVSKY AND
PALASHERSKY SECTION OF VKMKS USOLSKY POTASH
PLANT LLC "MINERAL CHEMICAL COMPANY EUROCHEM"**

Приведены расчеты по определению прогнозных деформаций подрабатываемой земной поверхности в районе планируемой отработки 2СЗП 2 западного блока. На Усольском калийном комбинате такие расчеты производят в соответствии с методикой, приведенной в «Методических указания по защите рудника от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийных солей».

Ключевые слова: деформации, затопление, охрана, подработка.

This article provides calculations to determine the predicted deformations of the undermined earth surface in the area of the planned mining 2 of the north-western block 2 of the Western block. At the Usolskiy potash plant, such calculations are made in accordance with the methodology given in the "Methodological guidelines for the protection of the mine from flooding and the protection of undermined facilities in the conditions of the Palasherskiy and Balakhontsevskiy areas of the Verkhnekamskoye potash salt deposit."

Keywords: deformations, flooding, protection, part-time work.

Геологическое строение участка месторождения в районе 2СЗП 2 западного блока представлено по близлежащим геологоразведочным скважинам. В геологическом разрезе рассматриваемого участка представлены сверху вниз: четвертичные отложения, пестроцветная толща, терригенно-карбонатная толща, соляно-мергельная толща, покровная каменная соль, сильвинито-карналлитовая зона, подстилающая каменная соль [1, с. 6].

Водозащитной толщей (ВЗТ) называют непроницаемую часть горного массива, расположенную между отработываемым пластом калийно-магниевых солей и горизонтом, содержащим надсолевые воды [2, с. 6].

Учитывая строение водозащитной толщи, интенсивную складчатость пластов и выдержанную ориентацию продольных осей складок на ВКМКС, для отработки сильвинитовых пластов на шахтном поле рудника принимается камерная система разработки с поддержанием кровли на ленточных целиках.

На руднике применяется машинная (комбайновая) технология производства горных работ, что исключает нарушение сплошности породного массива в приконтурной зоне, которое происходит при применении буровзрывной технологии горных работ.

На участке 2СЗП 2 западного блока планируют отрабатывать пласты КрII и КрIII (табл. 1).

Таблица 1

Параметры системы разработки 2СЗП, 2 западного блока

Пласт	КрII	КрIII
Максимальная глубина отработки пласта (H_0), м	395	401
Ширина камеры (a), м	5,5	5,5
Расчетная ширина междукамерного целика (b), м	8,9	8,9
Вынимаемая мощность пласта (m_0), м	5,56	3,2
Расчетное приращение высоты целика (Δm), м	0,8	0,8
Относительное содержание глинистых прослоек (δ_c), д.ед.	0,069	0,049
Коэффициент глинистых прослоек (K_c)	0,805	0,790
Эквивалентная прочность пород, слагающих целик σ_0 , т/м ²	1994	2056
Расчетный коэффициент извлечения (ω)	0,361	0,353
Устойчивый пролет кровли камер (a_{om}), м	3	3
Коэффициент заполнения очистных камер закладкой (A), д.ед.	0,75	0,75
Ширина панели (D_1), м	2370,2	2370,2
Длина панели (D_2), м	2273	2273
Сечение комбайна Урал-20Р, м ²	15,5	

Допустимая степень нагружения междукамерных целиков [С] в соответствии с требованиями действующей нормативной документации [2] принима-

ется равной 0,4 на большей части шахтного поля, так как к моменту проектирования аномальные зоны на шахтном поле не выявлены.

Производим расчеты в соответствии с методикой расчета прогнозных оседаний и указаниями по защите рудника от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийных солей [1, с. 6]. Исходные данные к вычислениям приведены в табл. 1.

Расчет степени нагружения целиков на пласте КрII:

$$C \leq [C], \quad (1)$$

где C – расчетная степень нагружения междукамерных целиков; $[C]$ – допустимая степень нагружения междукамерных целиков, $[C] = 0,4$.

Расчётная степень нагружения междукамерных целиков, оставляемых в выработанном пространстве на каждом пласте, выражает отношение действующей нагрузки к его несущей способности и определяется по формуле

$$C_{\text{КрII, КрIII}} = \xi \cdot \frac{\gamma \cdot l \cdot H_o}{b \cdot \sigma_n}, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики вследствие влияния горнотехнических факторов; γ – объёмный вес пород налегающей толщи, $\gamma = 2,1 \text{ т/м}^3$ [6]; $l_{\text{КрII, КрIII}}$ – межосевое расстояние, м; H_o – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли камер на рассматриваемом участке отработки; $b_{\text{КрII, КрIII}}$ – расчётная ширина междукамерных целиков; σ_n – расчётная прочность пород.

Коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики вследствие влияния горнотехнических факторов, определяется из выражения

$$\xi = \xi_1 \xi_2, \quad (3)$$

где ξ_1 – коэффициент, учитывающий влияние техногенной нагрузки, $\xi_1 = 1$; ξ_2 – коэффициент, учитывающий влияние опорного давления, $\xi_2 = 1$.

Панель обрабатывается камерами без оставления в них межходовых целиков, межосевое расстояние определяется по формуле

$$l_{\text{КрII, КрIII}} = a_{\text{КрII, КрIII}} + b_{\text{КрII, КрIII}}, \quad (4)$$

где $a_{\text{КрII, КрIII}}$ – ширина камеры, м; $b_{\text{КрII, КрIII}}$ – ширина целика, м.

Расчетная прочность пород определяется по формуле

$$\sigma_n = k_f \sigma_m, \quad (5)$$

где k_f – коэффициент, характеризующий влияние отношения расчетной ширины целиков b к их расчетной высоте m ; σ_m – агрегатная прочность пород в массиве.

Коэффициент k_f в зависимости от значения параметра $\lambda_m = b/m$ определяется из следующих выражений:

- при $0 < \lambda_m \leq 0,5$

$$k_f = \sqrt{2}\lambda_m; \quad (6)$$

- при $0,5 \leq \lambda_m$

$$k_f = \beta_o (1 + \beta_m \lambda_m), \quad (7)$$

где β_o , β_m – параметры аппроксимации, $\beta_o = 1/1,53 \approx 0,654$; $\beta_m = 1,06$.

Расчетная высота целиков при обработке сильвинитовых пластов определяется из выражения:

$$m = m_0 + \Delta m, \quad (8)$$

где m_0 – вынимаемая мощность при обработке пласта; Δm – расчетное приращение высоты целиков, которое при обработке сильвинитовых пластов определяется по формуле

$$\Delta m = \max \begin{cases} \beta_{ok} (a - a_{0m}); \\ m_{ok}, \end{cases} \quad (9)$$

где β_{ok} – коэффициент, учитывающий влияние устойчивости кровли камер на величину приращения расчетной высоты целиков; a_{0m} – устойчивый пролет кровли камер [1], $a_{0m} = 3,0$ м; m_{ok} – суммарная мощность коржей, оставляемых в кровле камер.

Так как Δm представлено в табл. 1, то за истинное принимаем значение из табл. 1.

Коэффициент β_{ok} определяется из выражения

$$\beta_{ok} = 0,7 \left[1,0 - \beta_{om} \sqrt{a_{0m}} \right]. \quad (10)$$

В конкретных горно-геологических условиях значение параметра β_{om} устанавливается в рекомендациях специализированных научных организаций на основании актов обследования состояния горных выработок. При отсутствии фактических данных в рассматриваемых горно-геологических условиях значение параметра $\beta_{om} = 0,262$.

Агрегатная прочность пород в массиве определяется из выражения

$$\sigma_m = k_0 \cdot \sigma_0, \quad (11)$$

$$k_0 = k_m \cdot k_c \cdot k_l, \quad (12)$$

где k_m – коэффициент, учитывающий влияние масштабного фактора, $k_m = 1,12$; k_c – коэффициент, учитывающий влияние глинистых прослоек, $k_c \leq 1$; k_l – коэффициент, учитывающий влияние прорезки целиков, определяется в зависимости от отношения $\lambda_c = l_c / b$ из выражения

$$k_l = \begin{cases} 1 + \beta_l \sqrt{\lambda_c - 1} \\ 1,25 \end{cases} \text{ при } \begin{cases} 1 \leq \lambda_c < 5; \\ \lambda_c \geq 5, \end{cases} \quad (13)$$

где l_c – длина целиков или расстояние между сбоями с камерами, пройденными в этих целиках; $k_l = 1,25$, так как длина целика во много раз больше его ширины; σ_0 – эквивалентная (приведенная) прочность пород, слагающих целики.

Коэффициент, учитывающий влияние глинистых прослоек k_c , определяется из выражения

$$k_c = \begin{cases} a_c (1 + \beta_c \sqrt{0,05 - \delta_c}) \\ a_c (1 - \beta_c \sqrt{\delta_c - 0,05}) \end{cases} \text{ при } \begin{cases} 0 \leq \delta_c \leq 0,05 \\ 0,05 < \delta_c < 0,35 \end{cases}, \quad (14)$$

где $\alpha_c = 0,86$; $\beta_c = 0,7281$; δ_c – относительное содержание глинистых прослоек.

Для того чтобы определить максимальное оседание земной поверхности, нужно определить, выполняется или не выполняется условие полной (неполной) подработки для данной панели. Условие полной подработки выражается отношением

$$\chi \geq 1,4, \quad \chi = D / H, \quad (15)$$

где D – эквивалентный размер выработанного пространства определяется из выражения

$$D = 1,12 \sqrt{(D_{01} - 0,15H)(D_{02} - 0,15H)}, \quad (16)$$

где D_{01}, D_{02} – размеры выработанного пространства в двух перпендикулярных направлениях; H – глубина разработки, соответствующая расстоянию от земной поверхности до почвы очистных камер обрабатываемого пласта.

На основании планируемых параметров отработки пластов определены величины суммарных оседаний земной поверхности, ожидаемые на конец процесса сдвижения по формуле

$$\eta_{ok} = 0,9\omega m_0 p \left\{ \frac{C}{0,32} \right\}^2 \text{ при } C < 0,32, \quad (17)$$

$$\eta_{ok} = 0,9m_0\omega p \text{ при } C \geq 0,32, \quad (18)$$

где m_0 – вынимаемая мощность пласта; p – параметр, учитывающий влияние закладки выработанного пространства при отработке рассматриваемого пласта, определяется по формуле

$$p = 1 - A(1 - B), \quad (19)$$

где A – коэффициент заполнения очистных камер закладкой; B – коэффициент усадки закладочного массива в зависимости от технологии и вида закладки. Значение коэффициента B принимается равным 0,18 – при гидравлическом способе закладки; 0,25 – при механическом способе закладки; 0,30 – при механическом способе закладки камер породами от проходки горных выработок.

Так как коэффициент заполнения очистных камер гидравлической закладкой для пласта КрII и КрIII одинаков, то ω – расчетный коэффициент извлечения, определяется по формуле

$$\omega = \frac{S_0}{m_i \cdot l_i} = \frac{a \cdot m_i}{m_i \cdot l_i}, \quad (20)$$

где S_0 – площадь поперечного сечения очистной камеры, м²; l_i – межсоевое расстояние, м.

Так как ω представлено в табл. 1, то за истинное принимаем значение из табл. 1.

При отработке нескольких пластов величина максимального оседания земной поверхности на период окончания процесса сдвижения определяется суммированием соответствующих значений максимальных оседаний от отработки каждого из пластов в соответствии с выражением

$$\eta_o = \sum_{j=1}^k \eta_{oki}, \quad (21)$$

где η_{oki} – значение максимального оседания земной поверхности на период окончания процесса сдвижения, вызванного отработкой i -го пласта.

Временной коэффициент k_i , характеризующий изменение отношения $\eta_{om}(t)/\eta_{ok}$ во времени, при $C < 0,32$ определяется по формуле при $0 < nt < 2,0$:

$$k_t = 0,2n_t, \quad n_t = \frac{t}{100}. \quad (22)$$

Временной коэффициент k_t , характеризующий изменение отношения $\eta_{om}(t)/\eta_{ok}$ во времени, при $C \geq 0,3$ определяется по формуле

$$k_t = \beta_z n_t^{\alpha_z}, \quad (23)$$

где t – рассматриваемый период времени, $t = 200$ лет,

При обработке нескольких пластов величина максимального оседания земной поверхности на рассматриваемый период времени определяется по формуле

$$\eta_{om}(t) = \sum_{i=1}^k \eta_{omi}(t), \quad (24)$$

где $\eta_{omi}(t)$ – максимальная величина оседания при обработке i -го пласта на рассматриваемый период времени.

Расчёт ожидаемых значений оседаний и деформаций земной поверхности от вредного влияния планируемых горных работ на площадке застройки выполнен на 50 и 200 лет (табл. 2).

Таблица 2

Расчет временного коэффициента

КрIII, $C = 0,245$				КрII, $C = 0,383$				КрII+КрIII
t	n_t	k_t	$\eta_{om}(t)$	t	n_t	k_t	$\eta_{om}(t)$	$\Sigma\eta_{om}(t)$
50	0,5	0,1	0,023	50	0,5	0,18972	0,132	0,155
200	2	0,4	0,092	200	2	0,70609	0,491	0,582

Значения оседаний и ожидаемых деформаций земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения на рассматриваемый (или заданный) период времени определяются по следующим формулам:

оседание

$$\eta(Z)_t = k_t n_{ok} S(Z); \quad (25)$$

наклон

$$i(Z)_t = k_t n_{ok} S'(Z) q_i \frac{1}{L}; \quad (26)$$

кривизна

$$K(Z)_t = k_t n_{ok} S''(Z) q_k \frac{1}{L^2} \quad (27)$$

горизонтальные деформации

$$\varepsilon(Z)_t = m_e K(Z)_t L, \quad (28)$$

где $n_{ок}$ – максимальное оседание на период окончания процесса сдвижения; $S(z)$, $S'(z)$ и $S''(z)$ – значения функций распределения относительных (безразмерных) оседаний, наклонов и кривизны в краевой части мульды сдвижения (определяются по табл. 1) [3]; z – относительная координата рассматриваемой точки в краевой части мульды сдвижения, равная отношению x/L ; L – длина полумульды сдвижения; x – расстояние от точки с максимальным оседанием земной поверхности до рассматриваемой точки; q_i и q_k – коэффициенты приведения значений наклона и кривизны к 15-метровому интервалу, $q_i = 1,2$; $q_k = 1,5$ [4]; m_e – коэффициент перехода от кривизны к горизонтальным деформациям, определяется по формуле

$$m_e = \beta_e \cdot \beta_k. \quad (29)$$

где β_e – параметр аппроксимации, $\beta_e = 0,05$.

Параметр β_k в зависимости от относительного значения кривизны характеризуется коэффициентом

$$\lambda_{ок} = \frac{k_i n_{ок} S''(z) q_k}{1 \cdot 10^{-4} \cdot L^2} \quad (30)$$

и определяется из выражения

$$\beta_k = \begin{cases} 1,0 + 1,8(1,0 - \lambda_{ок})^{3,8} \\ 1,0 \end{cases} \text{ при } \begin{cases} \lambda_{ок} < 1,0; \\ \lambda_{ок} \geq 1,0. \end{cases} \quad (31)$$

Таблица 3

Значения оседаний и ожидаемых деформаций земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения на 200 лет

z	$s(z)$	$s'(z)$	$s''(z)$	$\eta(z)t$	$i(z)t \cdot 10^{-3}$	$k(z)t \cdot 10^{-3}$	λ	β_k	β_e	m_e	$\varepsilon(z)t \cdot 10^{-3}$
0	1	0	0	0,582	0,000	0,000	0,000	2,800	0,05	0,140	0,000
0,11	0,945	0,8	-7,5	0,550	1,003	-0,021	0,211	1,732	0,05	0,087	-1,018
0,2	0,84	1,5	-6,7	0,489	1,881	-0,019	0,188	1,814	0,05	0,091	-0,953
0,3	0,655	2	0	0,381	2,507	0,000	0,000	2,800	0,05	0,140	0,000
0,4	0,44	1,75	4,5	0,256	2,194	0,013	0,127	2,077	0,05	0,104	0,732
0,5	0,29	1,25	5,5	0,169	1,567	0,015	0,155	1,951	0,05	0,098	0,841

Окончание табл. 3

z	$s(z)$	$s'(z)$	$s''(z)$	$\eta(z)t$	$i(z)t \cdot 10^{-3}$	$k(z)t \cdot 10^{-3}$	λ	β_k	β_e	m_e	$\varepsilon(z)t \cdot 10^{-3}$
0,6	0,188	0,85	2,8	0,109	1,066	0,008	0,079	2,318	0,05	0,116	0,509
0,7	0,12	0,6	2	0,070	0,752	0,006	0,056	2,445	0,05	0,122	0,383
0,8	0,072	0,45	1,5	0,042	0,564	0,004	0,042	2,528	0,05	0,126	0,297
0,9	0,034	0,3	1	0,020	0,376	0,003	0,028	2,615	0,05	0,131	0,205
1	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	2,800	0,05	0,140	0,000

График ожидаемых оседаний и деформаций представлен на рисунке.

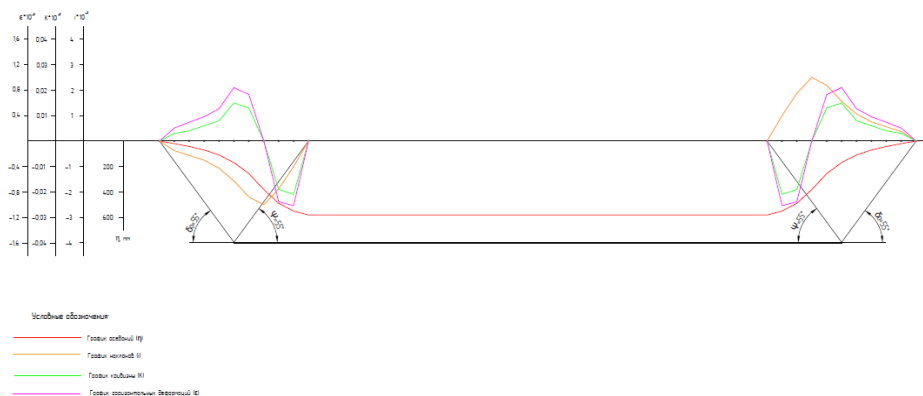


Рис. График ожидаемых оседаний и деформаций

В ходе данной работы была определена степень нагружения целиков С по двум пластам: $S(KpII) = 0,383$, $S(KpIII) = 0,245$, где рассчитанная степень нагружения целиков С по двум пластам не превышает допустимой $[C] = 0,4$, это говорит о том, что нет необходимости менять параметры разработки на данных пластах 2-го западного блока 2СЗП. После окончания процесса сдвигения земной поверхности, опираясь на расчёты, максимальные оседания земной поверхности составят $\eta_0 = 0,924$ м. Были определены временные коэффициенты, и построены прогнозные графики нарастания оседаний земной поверхности со временем, оседания через 50 лет $\eta_0 = 0,155$ м, через 200 лет – $\eta_0 = 0,582$ м. Данные значения говорят о том, что спустя 200 лет не произойдёт окончание процесса сдвигения земной поверхности, следовательно, земная поверхность в будущем будет оседать до рассчитанного максимального значения. Также был выполнен расчет ожидаемых оседаний и деформаций (на-

клонов, кривизны, горизонтальных деформаций) земной поверхности в точках главных сечений мульды оседаний на заданный период времени (200 лет).

Таким образом, проектные параметры разработки удовлетворяют данным допускам по горно-геологическим условиям и необходимость корректировки отсутствует.

Список литературы

1. 5901-18004-ТП-01-ГТП1.2.1. Раздел 3. Технические решения. Подраздел 1. Подземный комплекс. Часть 2. Горные меры охраны; ООО «ТОМС-проект». – СПб., 2018. – 192 с.

2. Указания по защите рудника от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийных солей. – Усолье, 2017.

3. Методические рекомендации к «Указаниям по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей». – СПб., 2008.

4. Книга 4. ПРГР на 2021 год. Меры охраны подрабатываемых объектов; ООО «Еврохим – УКК». – Березники, 2020. – 221 с.

Получено 12.10.2021.

Киселев Андрей Олегович – старший преподаватель, кафедра «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: a.o.kiselev@mail.ru.

Самодуров Данил Александрович – студент, кафедра «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nfs-shift2009@mail.ru.