

*Денисенко Е. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ВЛИЯНИЕ КАПЕЖА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛАХ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

*Досліджений процес утворення капезу із загального обсягу водопритоку в стовбур. Визначено залежність ступеня впливу капезу на точність проектування від концентрації крапель на  $1 \text{ м}^3$  та від глибини орієнтуємого горизонту.*

**Ключові слова:** *капез, проектування, водоприток, корисний об'єм, концентрація, відхилення траєкторії.*

*Исследован процесс образования капеза из общего объема водопритока в ствол. Определена зависимость степени влияния капеза на точность проектирования от концентрации капель на  $1 \text{ м}^3$  и от глубины ориентируемого горизонта.*

**Ключевые слова:** *капез, проектирование, водоприток, полезный объем, концентрация, отклонение траектории.*

Как известно, в большинстве вертикальных стволов наблюдается капез различной интенсивности в зависимости от горно-геологических условий и от состояния крепи ствола.

При проектировании координат точек гравитационным способом [1] существует большая вероятность того, что шарик, двигаясь вниз по стволу, может столкнуться с водяными каплями, также летящими вниз, что возможно повлияет на траекторию его движения.

**Цель исследования:** исследовать капез как один из факторов, влияющих на величину отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения и зависимость ее от глубины ориентируемого горизонта и объема водопритока в ствол.

Остальные влияющие факторы рассмотрены в статьях [2,3]

Для того, чтобы определить величину отклонения траектории шарика вследствие влияния капеза, необходимо определить его объем.

В большинстве случаев на небольших глубинах в зоне гидравлической активности водоприток к стволу составляет до  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ , ниже с глубиной он уменьшается и на глубине 400-500 м приток составляет  $10-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а на глубине более 800 м –  $0,5-2 \text{ м}^3/\text{ч}$  [4].

Для определения притока воды к стволу на каждом горизонте в диапазоне от 100 м до 1500 м по данным [4] построен график зависимости от глубины на рисунке 1 и с помощью построенной кривой определен приток в ствол на каждом горизонте.

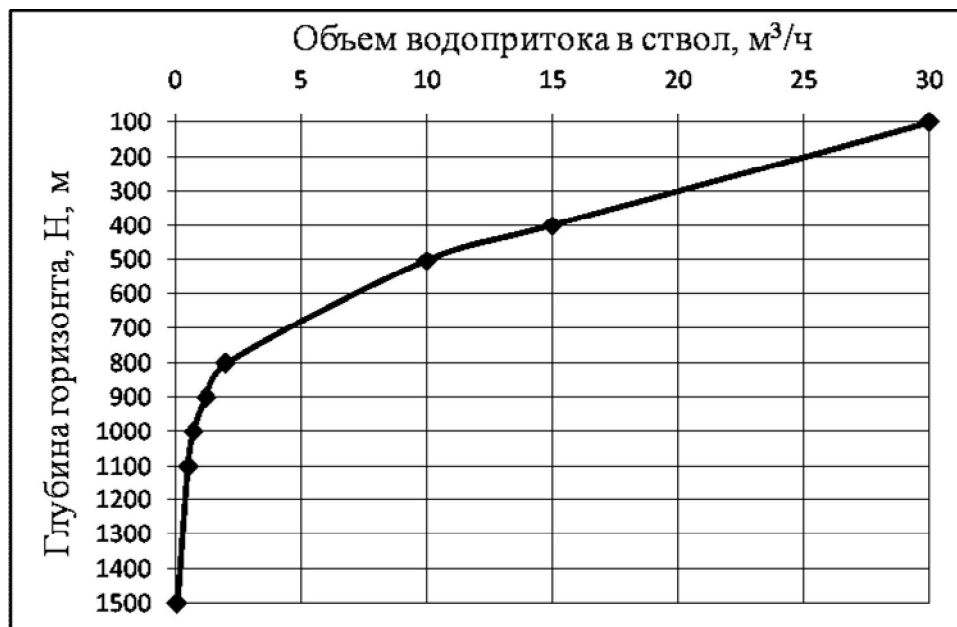


Рисунок 1 – График зависимости объема водопритока от глубины горизонта

Так же известно [4], что интенсивность капежа достигает наибольшей величины у стен ствола, уменьшаясь к центру. По данным источника [4], примерно 65-80% воды, фильтрующейся через крепь, распределяется в виде капежа на расстоянии до 30 см от стен, 15% — на расстоянии 1,2 м и только около 5% воды стекает в центральной части ствола.

Таким образом, будем производить расчет водопритока для трех случаев: на расстоянии 0,3 м; 1,2 м от стенки ствола (при проектировании через один ствол) и 3 м – центр ствола (при проектировании через два ствола).

Водяные капли различных размеров, просачиваясь из стенок ствола, движутся по всем его коммуникациям – отрываются от них и падают вниз. В процессе своего движения капля может встретить препятствие, удариться об него и разбиться на множество мелких капель, называемых брызгами. Таким образом, мы имеем воздушно-капельную среду, в которой крупные капли падают вниз, а брызги движутся с разной скоростью в разных направлениях, определить которые весьма сложно (рис. 2). Таким образом, свободно падающие капли воды движутся параллельно проектирующему шарик и их взаимодействие воз-

можно с нижней его поверхностью, если шарик догонит каплю, влияние при этом минимально. Максимальное влияние на вертикальность траектории шарика оказывают брызги, которые действуют на боковые поверхности шарика.

По физическим законам максимально возможная водяная капля в природе может быть размером в диаметре 9мм [5], но ее образование возможно только в условиях плотного туманного облака. Обычная дождевая капля – 2÷3мм [5]. Размерные показатели капель воды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размерные показатели капель воды

Параметры капли воды	Единица измерения	Значения			
		$d_k$	9	$d_b$	3
Диаметр	мм	$d_k$	9	$d_b$	3
Радиус	$m \cdot 10^{-3}$	$r_k$	4,5	$r_b$	1,5
Объем	$m^3 \cdot 10^{-7}$	$V_k$	3,81	$V_b$	0,14
Масса	г	$m_k$	0,38	$m_b$	0,014
	$кг \cdot 10^{-4}$		3,81		0,14
Площадь миделевого сечения	$m^2 \cdot 10^{-5}$	$S_k$	6,36	$S_b$	0,71

Представим, что все капли и брызги, движущиеся в пространстве ствола равного максимально возможного размера –  $d_k = 3$  мм с массой  $m_k = 0,014$  г.

Рассматриваем объем капежа, образовавшийся вследствие водопритока в ствол, продолжительность действия которого на шарик, падающий на глубину 1500 м составляет около 20 сек, поэтому переведем объем водопритока от  $m^3/ч$  к г/сек:

$$V_{\text{вп}} = V_{\text{вп}}^{m^3/ч} \cdot 1\,000\,000 \cdot 3\,600, \text{ г/сек}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{вп}}^{m^3/ч}$  – объем водопритока,  $m^3/ч$ ;

1 000 000 – количество грамм воды, содержащейся в  $1 m^3$ ;

3 600 – количество секунд в 1 ч.

Как представлено выше, капеж уменьшается с удалением от стенки ствола, поэтому рассчитаем его объем на расстоянии 0,3 м от стенки, который составляет 65% от общего объема; 1,2 м – 15%; 3 м – 5%:

$$V_{\text{вп}}^L = V_{\text{г/сек}} \cdot m(L), \text{ г/сек}, \quad (2)$$

где  $m(L)$  – процент водопритока, зависящий от расстояния от стенки ствола: при  $L = 0,3\text{ м}$   $m = 0,65$ ; при  $L = 1,2\text{ м}$   $m = 0,15$ ; при  $L = 3,0\text{ м}$   $m = 0,05$ .

Все расчеты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет концентрации капежа

Глубина, $H$ , м	Водоприток, $V_{вп}$ м <sup>3</sup> /ч	Расстояние от стенки ствола, $L$ м			Расстояние от стенки ствола, $L$ , м		
		0,3	1,2	3	0,3	1,2	3
		% капежа в объеме водопритока $m(L)$			Суммарная концентрация капежа, $n^L$ , капель/20сек		
		65%	15%	5%			
Объем капежа $V^L_k$ , г/сек							
100	30	5417	1250	417	183	42	14
200	25	4514	1042	347	335	77	26
300	20	3611	833	278	456	105	35
400	15	2708	625	208	548	126	42
500	10	1806	417	139	608	140	47
600	7	1264	292	97	651	150	50
700	4	722	167	56	675	156	52
800	2	361	83	28	688	159	53
900	1,5	271	63	21	697	161	54
1000	1	181	42	14	703	162	54
1100	0,5	90	21	7	706	163	54
1200	0,3	54	13	4	708	163	54
1300	0,2	36	8	3	709	164	55
1400	0,1	18	4	1	709	164	55
1500	0,05	9	2	1	710	164	55

Рассчитанный по формуле (2) объем водопритока приходится на весь объем пространства ствола, который равен:

$$V_{ств} = \pi \cdot R^2 \cdot H_{ств} = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 1500 = 42390\text{ м}^3, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус ствола, м;

$H_{ств}$  – максимальная глубина ствола, м.

Рассмотрим объем пространства в пределах площади экрана, назовем его *полезным объемом*, который рассчитаем по формуле:

$$V_{\text{пол}} = a \cdot b \cdot H_{\text{ств}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 1500 = 1080 \text{ м}^3, \quad (4)$$

где  $a$  – длина экрана, м;

$b$  – ширина экрана, м.

Определим его процент в общем объеме пространства ствола:

$$\frac{V_{\text{пол}}}{V_{\text{ств}}} \cdot 100\% = \frac{1080}{42390} \cdot 100\% = 2,55\%. \quad (5)$$

Значит, объем водопритока внутри полезного объема составляет также 2,55% от общего объема водопритока в зависимости от расстояния от стенки ствола:

$$V_{\text{вп пол}}^L = \frac{V_{\text{вп}}^L \cdot 2,55\%}{100\%}, \text{ Г/сек.} \quad (6)$$

Представим, что весь объем водопритока существует в пространстве ствола в виде свободного капеза  $V_{\text{вп пол}}^L = V_{\text{к}}^L$  и, зная массу одной капли, представленную в таблице 1, можно определить количество капель распределенных по полезному объему:

$$N_{\text{пол}}^L = \frac{V_{\text{к}}^L}{0,014}, \text{ капель.} \quad (7)$$

Рассчитаем концентрацию капель на  $1 \text{ м}^3$  полезного пространства ствола:

$$n^L = \frac{N_{\text{пол}}^L}{V_{\text{пол}}}, \text{ капель/м}^3. \quad (8)$$

Вычисленная по формуле (8) концентрация применима для каждого горизонта в отдельности. В реальности на конечном горизонте получаем суммарную концентрацию всех вышележащих горизонтов, умножив при этом каждую из них на 20, т. к. капез действует на проектирующий шарик 20 сек, получим окончательную концентрацию капеза на  $1 \text{ м}^3$  полезного объема пространства ствола и показанную в таблице 2.

Пусть проектирующий шарик радиусом  $R_{\text{ш}} = 0,00873 \text{ м}$  движется со скоростью  $v_{\text{ш}} = 88,7 \text{ м/с}$  [3] по траектории падения в пространстве, заполненном множеством падающих параллельно шарiku водяных капель, как видно на рисунке 2 [6], среднее значение массы одной капли

определено по таблице 1 -  $m_k=1,4 \cdot 10^{-5}$ , их концентрация  $n$  рассчитана в таблице 2.

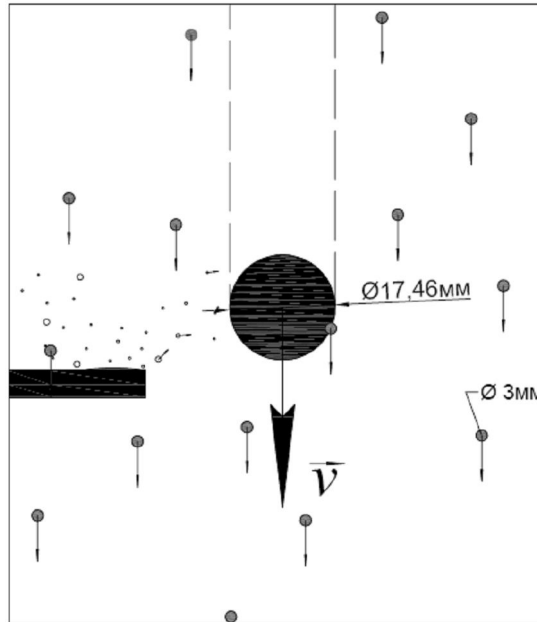


Рисунок 2 – Действие капеза на проектирующий шарик

За 1 секунду шарик встречает на своем пути

$$N^L = n^L v_{\text{ш}} S, \text{ капель,} \quad (9)$$

где  $S = 2\pi R_{\text{ш}}^2$  — площадь взаимодействия с капезом (площадь нижней поверхности шарика - полусферы). Т. к. столкновения капель с шариком неупругие [7], то сила сопротивления капель равна [6]:

$$F_{\text{с.к.}}^L = m_k v_{\text{ш}} N^L. \quad (10)$$

Второй закон Ньютона гласит, что векторная сумма всех приложенных к телу сил прямо пропорциональна произведению массы этого тела на его ускорение, то есть:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad (11)$$

где  $\vec{F}$  – равнодействующая всех приложенных к телу сил;  $m$  – масса тела;  $\vec{a}$  - ускорение тела.

Представим, что на шарик в определенный момент времени действует только сила сопротивления воздушно-капельной среды, тогда шарик под действием этой силы будет отклоняться с ускорением, определяемым по формуле:

$$a^L = \frac{F_{с.к}^L}{m_{ш}}, \text{ м/с}^2, \quad (12)$$

где  $F_{с.к}^L$  – сила сопротивления воздушно-капельной среды в зависимости от расстояния от стенки выработки, Н;

$m_{ш}$  – масса шарика, кг.

Отсюда определим скорость отклонения:

$$v^L = a^L \cdot T_{ш} = \frac{S_{откл}^L}{T_{ш}}, \text{ м/с}, \quad (13)$$

где  $S_{откл}^L$  – величина отклонения шарика от вертикали в зависимости от расстояния от стенки выработки, м;

$T_{ш}$  – время взаимодействия шарика с объемом  $1 \text{ м}^3$  воздушно-капельной среды, равное  $0,013 \text{ с}$ .

По формуле (13) определим величину отклонения шарика от вертикали:

$$S_{откл}^L = a^L \cdot T_{ш}^2. \quad (14)$$

По результатам расчетов в таблице 3 видно, что в условиях столкновения шарика даже с несколькими сотнями капель отклонение траектории его полета от вертикали произойдет на десятые доли миллиметра и на точность проектирования не окажет существенного влияния.

Погрешность, возникающая в результате отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения под влиянием капежа в шахтном стволе, зависит от двух взаимозависящих основных факторов:

- глубина горизонта;
- концентрация капель на  $1 \text{ м}^3$  полезного объема пространства ствола.

Поэтому построим график зависимости этих трех параметров, представленный на рисунке 3. Линия, соединяющая центры кругов показывает зависимость концентрации капель от глубины горизонта, а диаметр кругов соответствует величине отклонения траектории проектирующего шарика.

Таблица 3 - Расчет отклонения шарика от вертикали за счет сопротивления капежа

Глубина горизонта, $H$ , м	Расстояние от стенки ствола, $L$ , м			Расстояние от стенки ствола, $L$ , м		
	0,3	1,2	3	0,3	1,2	3
	Концентрация капежа, $n^L$ , $к/м^3$			Отклонение траектории проектирующего шарика от вертикали, $S_{откл}$ , мм		
100	183	42	14	0,05	0,011	0,004
200	335	77	26	0,09	0,020	0,007
300	456	105	35	0,12	0,028	0,009
400	548	126	42	0,14	0,033	0,011
500	608	140	47	0,16	0,037	0,012
600	651	150	50	0,17	0,039	0,013
700	675	156	52	0,18	0,041	0,014
800	688	159	53	0,18	0,042	0,014
900	697	161	54	0,18	0,042	0,014
1000	703	162	54	0,18	0,042	0,014
1100	706	163	54	0,18	0,043	0,014
1200	708	163	54	0,19	0,043	0,014
1300	709	164	55	0,19	0,043	0,014
1400	709	164	55	0,19	0,043	0,014
1500	710	164	55	0,19	0,043	0,014

Таким образом, на рисунке 3 и по расчетам в таблице 3 видно, что концентрация капель динамически растет с углублением до горизонта 800м, а на нижних горизонтах - стремится к одному постоянному значению, потому что водоприток в ствол с углублением уменьшается.

Судя по размеру кругов, практически такую же зависимость имеет и величина отклонения, которая увеличивается до горизонта 700м, а ниже так же стремится к постоянному значению, равному 0,19мм.



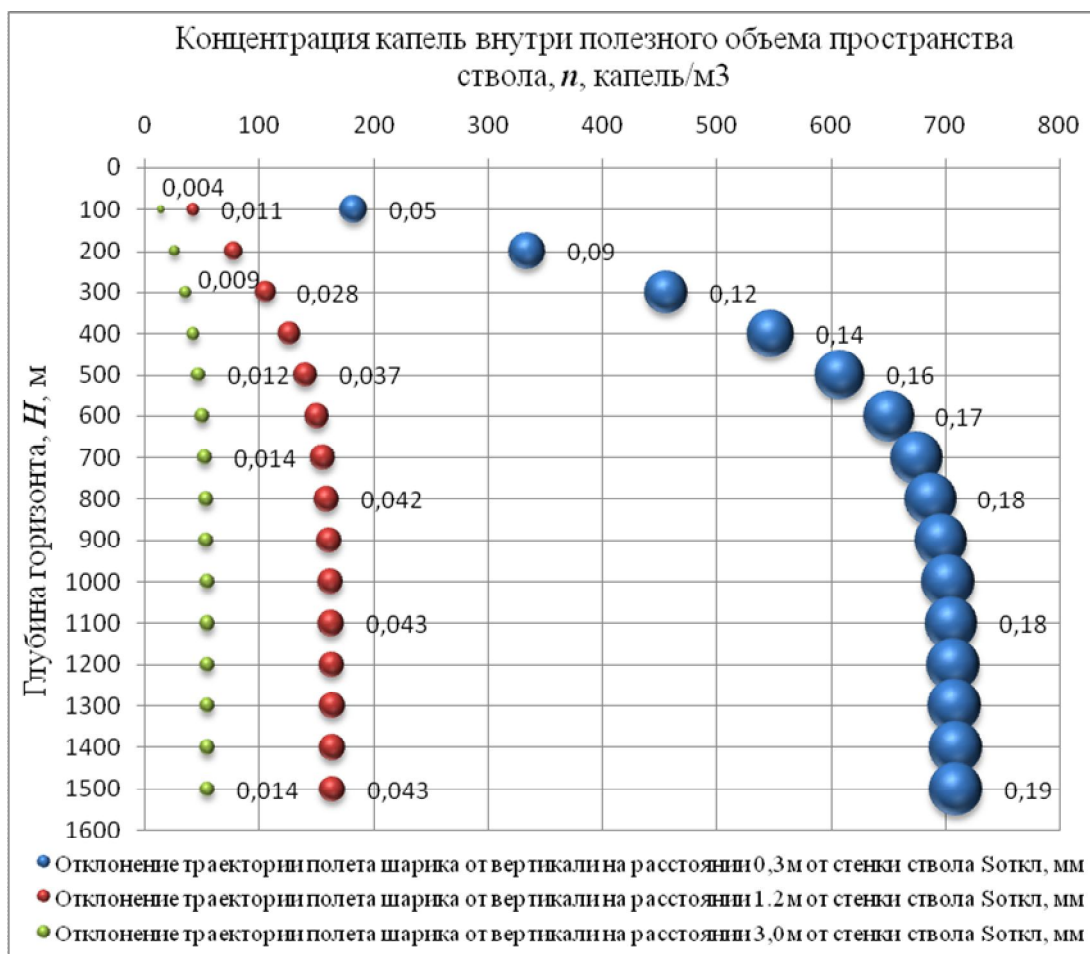


Рисунок 3 – График зависимости величины отклонения траектории проектирующего шарика от глубины горизонта и концентрации капежа

### Выводы:

1. Степень влияния капежа на точность проектирования координат гравитационным способом выражается величиной отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения, максимальное значение которой составляет 0,2 мм при проектировании через один вертикальный ствол, что удовлетворяет условиям допуска [8]. При проектировании через 2 вертикальных ствола, максимальное значение отклонения достигает 0,014 мм, т. к. проектирующий шарик движется по центру ствола.

2. Гравитационный способ центрирования подземной маркшейдерской сети обладает рядом преимуществ, перечисленных в публикациях [1,2,3], среди которых и высокая точность проектирования координат точек.

### **Библиографический список**

1. Пат. 56401 U Україна, МПК G 01 C 15/12. Спосіб проектування координат точок з поверхні на горизонт при орієнтуванні шахт. / В.Г.Ларченко, О.О.Денисенко; заявитель и патентообладатель Донбаський державний технічний університет. - №и201008687; заявл. 12.07.10; опубл. 10.01.11. Бюл. № 1.

2. Ларченко В. Г. Анализ погрешностей проектирования координат точек с поверхности на ориентируемый горизонт / В. Г. Ларченко, Е. А. Денисенко // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – 2011. – Вып. 33.– С. 63–70.

3. Денисенко Е. А.. Исследование погрешностей проектирования плановых координат точек с поверхности в шахту гравитационным способом / Е. А. Денисенко // Сб. Науч. Тр. ДонГТУ, 2012. – Вып. 36.– С. 94-105.

4. Картозия Б.Л. Высшее горное образование: шахтное и подземное строительство: учебник для вузов, 2-е изд. перераб. и доп. / Б.Л. Картозия, Б.И. Федунец, М.Н. Шуплик и др. //– М.: Издательство академии горных наук, 2001. – Т.1. - 365 с.

5. Вода / под.ред. А.Журавлев. - М. : Бук Хаус, 2005. - 294 с. : ил. - (Многоликая планета). - ISBN 5-98641-008-4.

6. Митрофанов А. Полеты в струе и наяву //Журнал Квант. — 1991. — № 9. — С. 2-10.

7. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — Издание 4-е. — М.: Физматлит, 2002. — Т. I. Механика. — 792 с.

8. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах: Інструкція / [Ред. Коміс. М.Є. Коплонець та ін.]. – Донецьк: ТОВ «Алан», 2001, - 264с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К**