

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ЗАПАСОВ МЕТАНА В ПОДРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Запропоновано методику розрахунку запасів техногенного метану в підроблених вугільних пластах та оцінки їх властивостей. Приведено приклад розрахунків кількості техногенного метану, який може бути видобутий з підроблених вугільних пластів у гірничо-геологічних умовах шахти "Чайкіно".

ESTIMATION OF METHANE TECHNOGENIC RESERVES IN UNDERMINING SEAM COALS

The technique of calculation of technogenic methane reserves in undermining seam coals and estimation of their properties is offered. The example of calculations of technogenic methane quantity is adduced, which one can be procured from undermining seam coals in geological conditions of "Chaikino" mine.

Количество газа в большинстве угольных пластов зависит, прежде всего, от марки угля, зольности, влажности и внутрипластового давления. Способность угольного пласта к адсорбции газа находится в нелинейной зависимости от давления. Для оценки ресурсов и запасов газа нужно определить газосодержание угля при начальных условиях коллектора и построить изотерму десорбции, которая описывает поведение метана при разгрузке пласта (снижение давления). Оба эти параметра могут быть получены в результате лабораторных определений пористости и сорбции керновых проб угля.

Большая часть газа угольных пластов находится в адсорбированном состоянии на внутренних поверхностях ненарушенной угольной массы. Газовыделение из углей представляет собой трехэтапный процесс, в ходе которого газ, первое – выделяется из естественных разломов и трещин, второе – десорбируется с поверхности пустот, третье – путем диффузии сквозь основную массу угля притекает в район пустот. На этапе десорбции изотерма представляет собой связующее звено между перемещением газа в основной массе угля (которое зависит от изменений концентрации) и его перемещением в системе трещин (которое зависит от изменений давления). Отношение между концентрацией и в общем описывается уравнением Ленгмюра.

При подработке в угольных пластах и пропластках под воздействием упругих деформаций за счет раскрытия существующих и образования новых техногенных трещин напластования и секущих трещин увеличивается общая пустотность, снижается давление газа и нарушается равновесное газодинамическое состояние системы уголь-вода-метан.

Рассмотрим содержание ресурсов метана в угольных пластах, которые будут подработаны при добыче угля. Если в толще несколько угольных пластов, то плотность ресурсов метана определяется как сумма плотностей их ресурсов.

$$P_{p,y} = \sum x_{пл,i} \cdot \rho_{yi} \cdot m_{yi} \quad (1)$$

где $P_{p.y}$ – плотность ресурсов метана в угольных пластах, $\text{м}^3/\text{м}^2$; $x_{пл.i}$ – пластовая газоносность в нетронутым массиве, $\text{м}^3/\text{т}$; ρ_{yi} – плотность углей в пласте, $\text{т}/\text{м}^3$; m_{yi} – мощность угольного пласта, м.

В процессе отработки угольного пласта в подработанном массиве формируются четыре его основные зоны дезинтеграции [1]. Метан, содержащийся в обрабатываемом пласте и в породах I и II зон, который мы назвали «быстрый газ» [2] попадает в выработки и выносится системами вентиляции и дегазации шахты на поверхность. Метан III и IV зон – «медленный газ», частично десорбируясь, переходит в свободное состояние и дренирует в трещинно-поровое пространство боковых пород с меньшим давлением газа, заполняя пустоты, в том числе и выработанное пространство. Процесс десорбции метана из угля подработанных пластов продолжается до тех пор, пока не создадутся новые условия, при которых равновесие в динамической системе уголь-метан-вода установится на новом уровне. При этом абсолютная величина техногенного давления газа в подработанном угольном пласте, определяющая его техногенную газоносность, зависит, при прочих равных условиях, от величины газопроницаемости нарушенной эксплуатационными трещинами междупластовой породной толщи. В подработанных породах формируется техногенный коллектор, который характеризуется определенными параметрами: коэффициентом интегральной эффективной пустотности $k_{и.э.п}$, эффективной условной мощностью $h_{ус}$, техногенным давлением газа P_T и интегральной газопроницаемостью $k_{пр}$. Газоносность такого коллектора, содержащий свободный метан, определяется, как и для газовых коллекторов по формуле

$$x_{тк} = 0,1 \cdot P_T \cdot k_{и.э.п}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (2)$$

где P_T – в МПа, а $k_{и.э.п}$ – в процентах.

Угольные пласты, находящиеся в подработанной толще в новом равновесном состоянии характеризуются техногенной газоносностью $x_{пл.т}$ (сорбционной емкостью), давлением газа P_T и техногенной пористостью. Плотность ресурсов техногенного метана, содержащегося в сорбированном состоянии в подработанных угольных пластах, определяется аналогично нетронутым массиву

$$P_{p.y.t} = \sum x_{пл.т.i} \cdot \rho_{yi} \cdot m_{yi}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \quad (3)$$

Зная содержание сорбированного метана до и после подработки (газоносность или плотность ресурсов), можно определить его количество, перешедшее в свободное состояние – оценить техногенные извлекаемые запасы

$$P_{з.т} = P_{p.y} - P_{p.y.t}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \quad (4)$$

Следовательно, оценка техногенных запасов метана сводится к определению его газоносности до и после подработки. Газоносность пластов можно оп-

ределить по изотерме сорбционной емкости углей при определенных давлениях.

Давление газа в угольных пластах нетронутого горного массива определяется прямыми его замерами на стадии геологоразведочных работ. При отсутствии прямых замеров величину газового давления в неразгруженных угольных пластах при приближенных расчетах можно определить по формуле [3]

$$P_{\text{н}} = d \cdot (H - H_0) + P_0, \text{ МПа} \quad (5)$$

где d – градиент давления, принимаемый равным 0,01 МПа/м; H – глубина по вертикали от земной поверхности, м; H_0 – глубина зоны газового выветривания, м; P_0 – давление газа в пласте у границы метановой зоны, равное 0,15...0,2 МПа.

Техногенное давление газа в пласте также может быть определено прямыми замерами пластоиспытателями при бурении скважин на выработанное пространство или же рассчитано по эмпирическим зависимостям, полученным экспериментальным путем. Например, исследователями ИПКОН АН СССР [4] установлено, что зависимость техногенного давления в пласте от расстояния между отработываемым и дегазируемым пластом M , имеет вид

$$P_{\text{т}} = \varphi \cdot e^{aM}, \text{ МПа} \quad (6)$$

где φ и a – коэффициенты, равные соответственно 0,0820 и 0,0298.

Определив давление газа в угольных пластах до и после подработки, по изотермам сорбционной метаноемкости, полученным для углей различной степени углефикации, вычисляется их газоносность. Кривая изотермы сорбции метана удовлетворительно описывается формулой, вытекающей из уравнения Ленгмюра [5]

$$x = x_{\text{max}} \cdot b \cdot P / (1 + b \cdot P), \text{ м}^3/\text{т с.б.м.} \quad (7)$$

где x_{max} – максимальная метаноемкость угля, м³/т с.б.м.; P – давление газа, МПа; b – коэффициент, зависящий от температуры, МПа⁻¹.

По величинам сорбционной метаноемкости углей определяется пластовая газоносность с учетом природной зольности и влажности через коэффициент пересчета k_{WA_3} [6]

$$k_{\text{WA}_3} = \frac{100 - W - A_3}{100} \quad (8)$$

где W , A_3 – соответственно пластовая влажность и зольность, %.

Природная метаносность пласта, определяется по формуле

$$x_{\text{пл}} = x_{\text{y}} \cdot k_{\text{WA}_3}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (9)$$

Аналогично определяется остаточная газоносность угля в пласте

$$x_{\text{пл. о.}} = x_{\text{у.о.}} \cdot k_{\text{WAз}}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (10)$$

где $x_{\text{у.о.}}$ – остаточная метаноносность угля, $\text{м}^3/\text{т}$ с.б.м., которая зависит от степени метаморфизма углей и определяется по формуле [6]

$$x_{\text{у.о.}} = 18,3 \cdot (V^{\text{daf}})^{-0,6} \quad (11)$$

По величинам газоносности определяются ресурсы и извлекаемые запасы метана, содержащиеся в подработанных угольных пластах и вычисляется прогнозный коэффициент извлечения метана

$$K_{\text{прог}} = \frac{P_{\text{з.т}}}{P_{\text{р.у}}} \quad (12)$$

Пример расчета извлекаемых запасов и газодинамических параметров угольных пластов m_4^1 – m_9 в районе скважины № 776-Т после подработки пласта m_3 на поле шахты «Чайкино».

Характеристика угольных пластов в подработанной толще приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Геолого-технологическая характеристика угольных пластов в разрезе скважины № 776-Т

Индекс пласта	Глубина залегания H , м	Мощность пласта m , м	Выход летучих V^{daf} , %	Пластовая влажность W , %	Пластовая зольность A_3 , %	$k_{\text{WAз}}$, отн. ед.	Расстояние до пласта m_3 M_i , м
m_3	620	1,55	31,4	0,8	9,2	0,9	0
m_4^1	582,6	0,3	34,0	1,0	19,6	0,79	37,4
m_5^{H}	467,5	0,2	34,3	1,0	22,5	0,78	152,5
m_5^{B}	439,8	0,6	34,4	0,9	9,7	0,89	180,2
m_6^2	332,8	0,5	37,0	1,0	20,9	0,78	287,2
m_6^3	303	0,4	37,5	0,9	20,9	0,78	317
m_7	289,2	0,6	33,0	1,2	8,0	0,9	330,8
m_9	223,4	0,6	34,4	1,1	17,5	0,81	396,6

Данные о газоносности и величинах давления газа в пластах отсутствуют. При бурении скважины измерены давления пластоиспытателем в интервалах глубин 398...430 м – 1,6 МПа; 461...495 м – 1,2 МПа, а также измерено давление на глубине 506 м – 0,23 МПа при статическом подпоре воды 531 м, то есть можно принять газовое давление равным 0,53 МПа.

Давление газа в нетронутом неразгруженном массиве определим по формуле (5), зная, что глубина зоны газового выветривания в районе скважины $H_0 = 70$. По имеющимся прямым замерам и расчетным величинам, построим график зависимости газового давления от глубины скважины (рис. 1), по графику определим давление газа в угольных пластах до и после подработки, и полученные величины занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Показатели ресурсов и извлекаемых запасов метана в угольных пластах

Индекс пласта	Давление газа в нефтенутом массиве P_n , МПа	Техногенное давление газа P_t , МПа	Метаноёмкость угля в нефтенутом массиве $X_{у,н}$, $M^3/т$ с.б.м.	Природная газоносность пласта $X_{пл,н}$, $M^3/т$	Метаноёмкость угля в подработанном массиве $X_{у,н}$, $M^3/т$ с.б.м.	Техногенная газоносность пласта $X_{пл,т}$, $M^3/т$	Природная плотность ресурсов метана в угольных пластах $I_{ру}$, M^3/M^2	Техногенная плотность ресурсов метана в угольных пластах $I_{рут}$, M^3/M^2	Техногенность извлекаемых запасов в углях $I_{зу}$, M^3/M^2	Прогнозный коэффициент извлечения метана $K_{прот}$, отн. ед.
m_3	5,7	0,1	28,5	25,6	–	–	47,6	0	0	–
m_4^1	5,3	0,62	28,0	22,1	13,5	10,7	7,9	3,5	4,4	0,56
m_5^H	4,2	1,28	27,0	21,1	17,5	13,6	5,0	3,1	1,9	0,38
m_5^B	3,9	1,45	26,5	23,6	18	16,0	16,8	10,8	6,0	0,36
m_6^2	2,8	2,14	23,5	18,3	21,2	16,5	10,8	9,7	1,1	0,1
m_6^3	2,5	2,5	22,5	17,5	22,5	17,5	8,3	8,3	0	0
m_7	2,4	2,4	22	19,8	22	19,8	13,9	13,9	0	0
m_9	1,7	1,7	19,3	15,6	19,3	15,6	10,8	10,8	0	0
Общие показатели							121,1	60,1	13,4	0,18

По справочным данным по формуле (7) построим изотерму сорбционной емкости углей марки Ж с выходом летучих $V^{\text{daf}} = 33...34\%$ (рис. 2), определим температурный коэффициент $b = 1,56 \frac{1}{\text{МПа}}$ и максимальную газоемкость угля $x_{\text{max}} = 29 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ и вычислим метаноемкость сухого беззольного угля при известных давлениях.

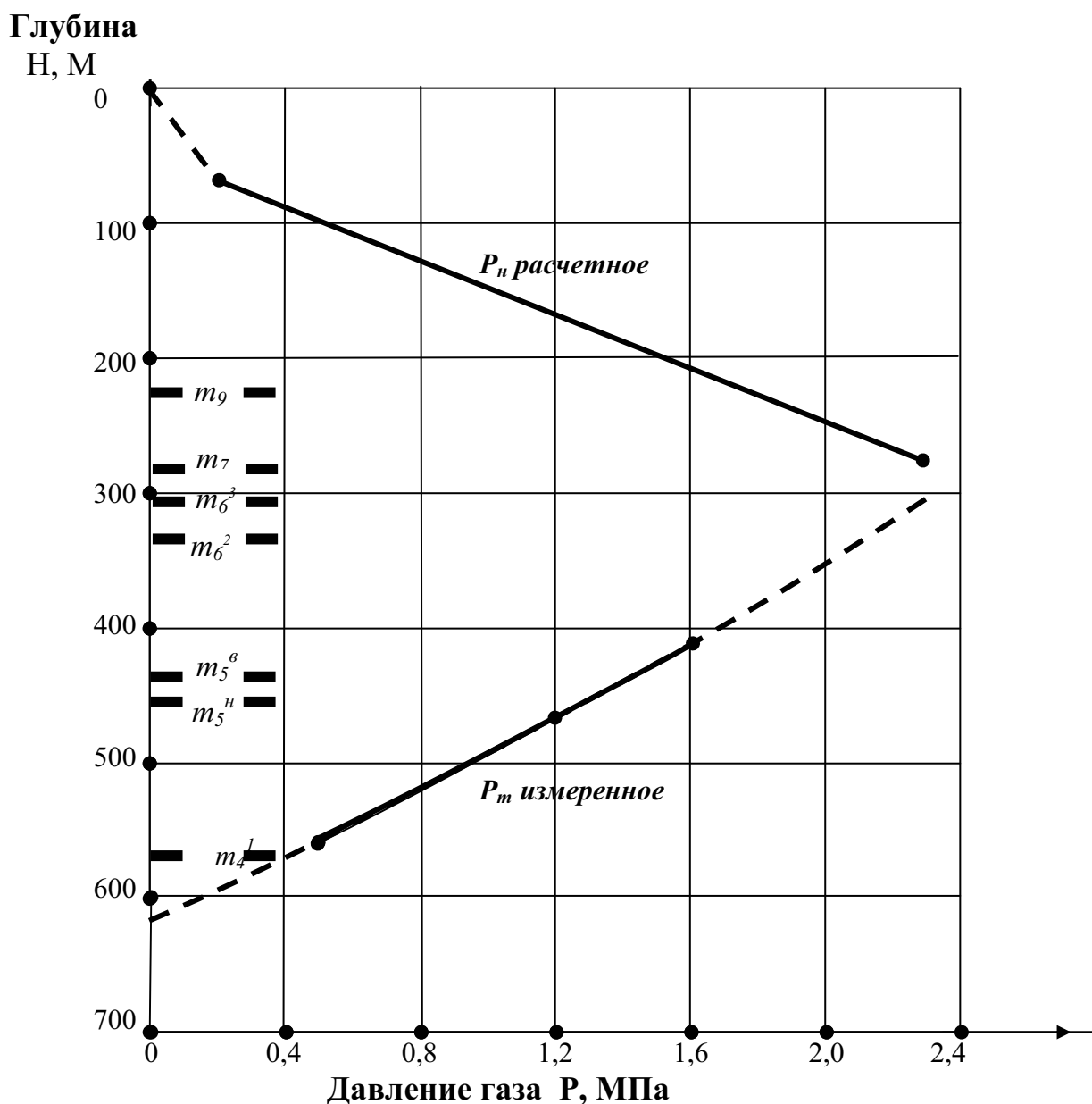


Рис. 1 – Давление газа в подработанной толще пластов $m_3 - m_9$ в разрезе скважины 776-Т (шахта “Чайкино”)

Через коэффициент пересчета (формула 8) определим пластовую газонасность в нетронутом массиве до и после подработки ($x_{\text{пл.н}}$ и $x_{\text{пл.т}}$), а также остаточную метанонасность ($x_{\text{пл.о}}$). Затем определяем плотность ресурсов метана в нетронутом и подработанном массиве, определяем по формуле (4) величину

плотности извлекаемых запасов метана и по формуле (12) вычисляем прогнозный коэффициент извлечения метана ($K_{\text{прог}}$). Необходимо отметить, что остаточная метаноносность $x_{\text{пл.о}}$ в расчетах не учитывается, она входит как слагаемое техногенной газоносности $x_{\text{пл.т}}$.

Результаты исследований сведены в таблицу 2.

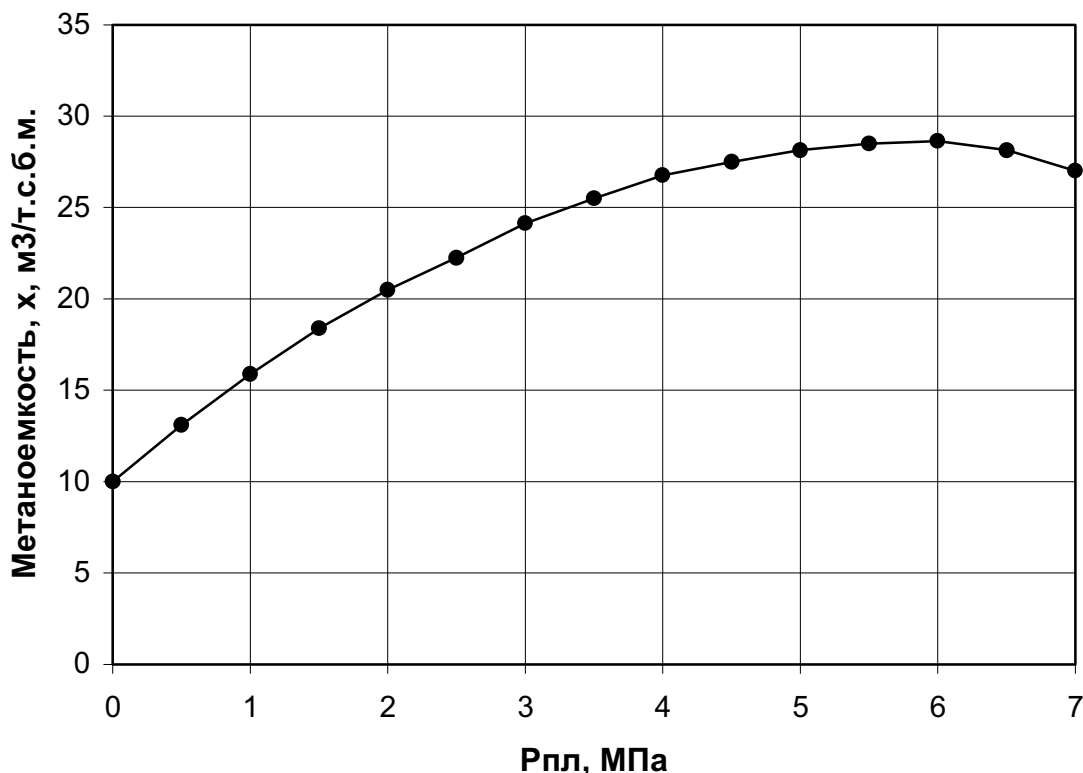


Рис. 2. Изотерма сорбционной метаноемкости

Как видно из общих ресурсов метана в восьми угольных пластах m_3 – m_9 нетронутых горными работами плотность ресурсов 121 м^3 метана на м^2 площади – $47,6 \text{ м}^3/\text{м}^2$ вынесено вентиляцией шахты («быстрый газ»), $60,1 \text{ м}^3/\text{м}^2$ осталось в угольных пластах в сорбированном состоянии, а $13,4 \text{ м}^3/\text{м}^2$ перешло в свободную фазу и может быть извлечено скважиной пробуренной с поверхности. Относительно низкое содержание извлекаемых запасов метана в подработанных угольных пластах объясняется их удаленностью от выработанного пространства и размещением вне зоны влияния подработки.

Ожидаемый объем извлечения метана будет зависеть от радиуса контура питания скважины. Так при среднем $R_k = 161 \text{ м}$, $V_{\text{ож}} = 1090$ тыс. м^3 метана без учета свободного метана, содержащегося в целике по пласту m_3 . Увеличение объемов извлечения метана из подработанных пластов m_4^1 – m_9 и из оставшегося целика m_3 возможно при стимулировании газоотдачи, например, при повторной подработке (возможна, в принципе, безлюдная выемка пласта m_6^B).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.

2. Методика расчета извлекаемых запасов метана из подработанного и надработанного углепородного массива / В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.Г. Ильющенко и др. // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 62-69.
3. Борьба со скоплениями метана в угольных шахтах / Г.Д. Лидин, А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов, Н.Г. Матвиенко. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 143 с.
4. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. – М.: Наука, 1981. – 335 с.
5. Иванов Б.М., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. – М.: Наука, 1979. – 196 с.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 312 с.

УДК 622.411.52.001.24

Л.А. Новиков

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ.

Розглянуто властивості і структуру турбулентного руху повітряного потоку в гірських виробках. Запропоновано наближену математичну модель руху пилового аерозолю на прикладі руху ізольованої вугільної частки. На основі запропонованої моделі отримана методика розрахунку траєкторії руху вугільної частки у повітряному потоці.

ENGINEERING TECHNIQUE OF DUST AEROSOL MOVEMENT CALCULATION IN MINING OBJECTS

There are considered turbulent movement of an air flow properties and structure in mining objects. There's offered approached mathematical model of dust aerosol movement on an example of the isolated coal particle movement. Based on proposed model was getting the technique of dust piece movement in mining air.

Как известно, турбулентный режим движения воздушного потока в канале характеризуется неупорядоченностью движения слоев потока, наличием в потоке пульсаций скорости, давления и других параметров.

Возмущения среды при турбулентном режиме движения представляют собой вихри различного масштаба и интенсивности, причем интенсивность вихрей прямо пропорциональна величине турбулентных пульсаций скорости движущейся среды. В основном это относится к поперечным пульсациям скорости.

Формы вихрей и направления их движений разнообразны. В основном преобладает перемещение вихревых структур в направлении движения потока. Что же касается формы вихрей, то в основном преобладают спиральные вихревые структуры эллипсообразной формы. Зарождающиеся вихри в своем движении увеличиваются в размерах, соседние вихри небольших размеров сливаются в более крупные. С течением времени вихри теряют свою энергию и распадаются на более мелкие. Далее опять начинается образование вихревых структур.

При выводе уравнений динамики двухфазной среды могут быть использованы феноменологический и статистический подходы [1].