

В. М. Сліденко, канд. техн. наук, доцент
Л.К. Лістовщик, канд. техн. наук, доцент; Є. В. Галба
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КОМПЛЕКС ІМПЛОЗІЙНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Представлено комплекс імплзійно-хвильової дії для підвищення продуктивності видобутку вуглеводнів, який синтезований на основі застосування процесу імплзії. Комплекс генерує хвильовий процес з одночасним відкачуванням флюїду із свердловини. Подібний вплив на пластову систему дозволяє збільшити проникність колектора та збільшити її продуктивність.

Метою роботи є обґрунтування структури та параметрів елементів комплексу імплзійно-хвильової дії на колектор пластової системи нафтової свердловини для утворення в ній системи мікротріщин, збільшення гідропровідності, та очищення зони фільтрації колектора нафтової свердловини від кольматантів.

На основі представлених розрахункових схем комплексу виконано розрахунки та обґрунтовано його раціональні параметри.

В результаті отримано залежності коефіцієнту інжекції від зміни геометричних параметрів струминного насосу. Визначено значення підвищення тиску в привибійній зоні за рахунок явища імплзії.

Ключові слова: нафтова свердловина, імплзія, проникність колектора, коефіцієнт інжекції.

Вступ. Нафта й газ є стратегічною сировиною і одним з найважливіших факторів економічної незалежності будь-якої держави. Зменшення фактичних дебітів свердловин пов'язане зі зниженням проникливості породи-колектора. Одним із дієвих методів впливу на гірський масив є застосування пристроїв імплзійної дії, принцип дії більшості з яких ґрунтується на ефекті раптового руйнування спеціальної мембрани від гідростатичного тиску з наступним імпульсним вливанням рідини в депресійну камеру і створення імплзійного гідроудару [1]. При цьому можливий передчасний розрив мембрани або, для зниження тиску в депресійній камері, виникає необхідність в застосуванні складної канатно-поліспаєтної системи з довжиною канатів 2000...4000 м. в залежності від глибини свердловини.

Відносно низька ефективність застосування методу імплзії пояснюється складністю вибору об'єктів під імплзію, недосконалістю технології і пристроїв для впливу на привибійну зону.

Критерії якості комплексу імплзійно-хвильової дії на привибійну зону нафтової свердловини характеризуються відношенням показників продуктивності свердловини до і після проведення обробки свердловини та тривалістю ефекту покращених фільтраційних властивостей свердловини. Важливим для ефективності функціонування елементів комплексу є раціональні значення їх параметрів.

Метою роботи є обґрунтування структури та параметрів струминного насосу та імплзійного модулю – основних елементів комплексу імплзійно-хвильової дії на колектор пластової системи нафтової свердловини для утворення в ній системи мікротріщин, збільшення гідропровідності та очищення зони фільтрації колектора нафтової свердловини від кольматантів.

Постановка задачі. Для досягнення мети роботи необхідно визначити коефіцієнт інжекції струминного насосу [2, 3] в залежності від геометричних параметрів сопла з рядом діаметрів 4, 6, 8 мм та дифузора з відповідними діаметрами камери змішування 6, 8, 10 мм, а також визначити параметри імплзійного удару: початкову швидкість робочої рідини, підвищення тиску в ударній хвилі, та підвищення тиску в свердловині від імплзійно-хвильового впливу.

Матеріал і результати досліджень. В Центрі імпульсно-хвильових конструкцій, технологій та навчальних систем ІЕЕ НТУУ "КПІ" розроблений комплекс імплзійно-хвильової дії на привибійну зону нафтової свердловини, який містить насосну установку 1, насосно-компресорні труби (НКТ) 2, струминний насос 3, пакер 4, імплзійно-хвильовий модуль 6 та імпульсний зворотний клапан 8 (рис. 1).

Насосною установкою 1 з поверхні прокачується робоча рідина по затрубному простору на вхід струминного насосу 3, який встановлюється в привибійній зоні (рис. 1). Струминним насосом 3 створюється падіння тиску в інжекційній камері 5. За допомогою розрахункової схеми (рис. 2) розраховано коефіцієнт інжекції за вхідними даними (табл.1). Падіння тиску в камері інжекції супроводжується ходом плунжера 4 (рис. 2), що створює в імплзійній камері 7 перепад тиску відносно пластового тиску в зоні 9 (рис. 1). Комплект клапанів 5 та 6 створюють гідравлічний зв'язок відповідно з камерою інжекції та імплзійною камерою.

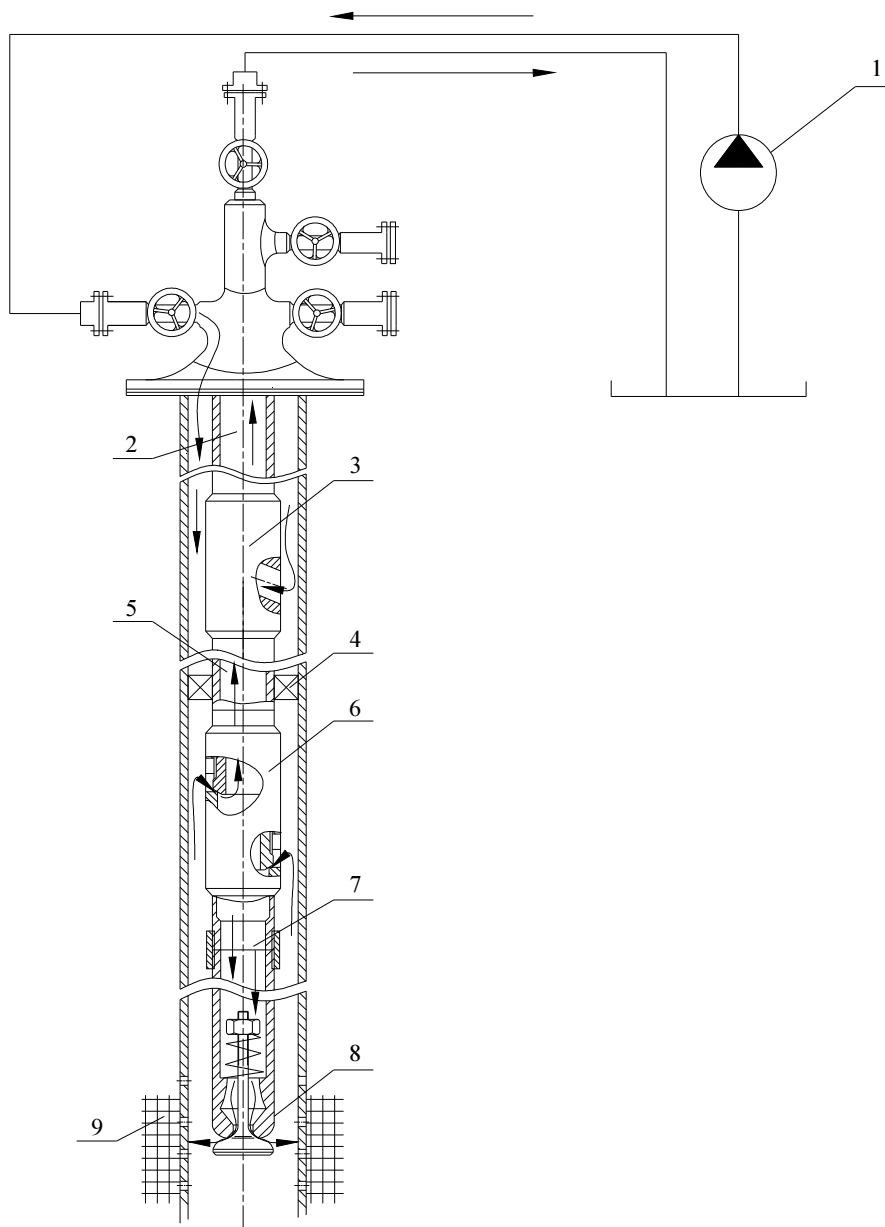


Рис. 1. Комплекс імпульсно-хвильової дії:

1 – насосна установка; 2 – НКТ ; 3 – струминний насос; 4 – пакер; 5 – камера інжекції; 6 – модуль імпульсної дії; 7 – імпульсна камера; 8 – клапан; 9 – порода-колектор.

Розроблено розрахункову схему (рис. 2), де наведено струминний та імпульсний модулі. При роботі струминного насоса, внаслідок створеної депресії в його камері розрідження, плунжер 4 починає рухатись в бік струминного насоса, зазор x_1 зменшується до нуля, і відкривається клапан імпульсного модулю 6 (рис.2, б). Відбувається імпульсний удар з циркуляцією рідини в імпульсній камері в напрямку клапана імпульсної камери 8. Плунжер 4 продовжує рухатись в бік струминного насоса і, при досягненні умови $x_2=0$, відбувається відкриття клапану струминного модулю 5, утворюється гідравлічний зв'язок затрубного простору з камерою інжекції струминного насоса (рис.2, в). Тиски в затрубному просторі і в камері розрідження вирівнюються, і під дією стиснутої пружини плунжер 4 повертається в вихідне положення.

Вхідні данні представлені у вигляді табл. 1.

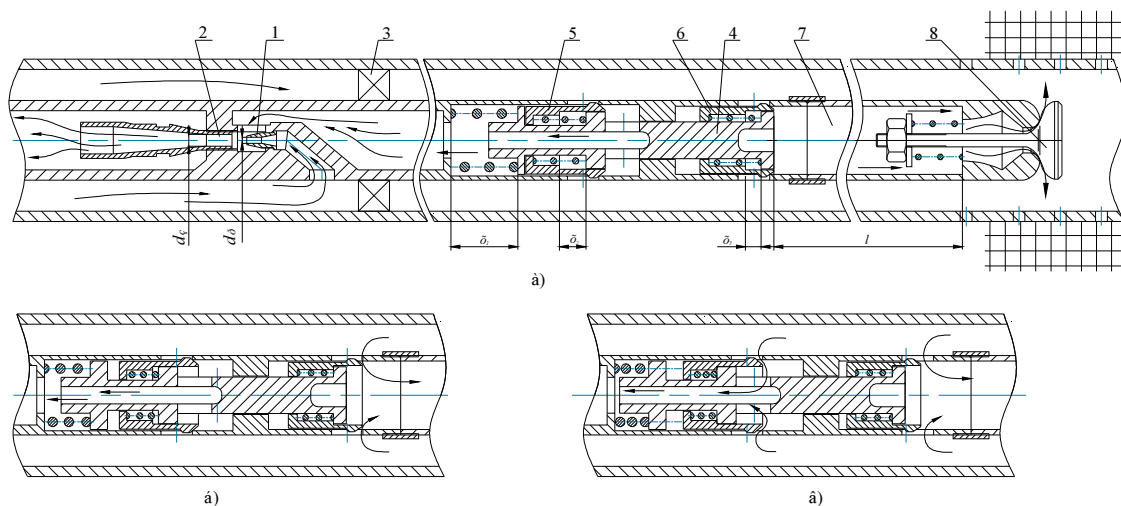


Рис. 2. Розрахункова схема струминного та імпульсного модулів:
 а) початкове положення; б) спрацювання клапана імпульсного модулю; в) спрацювання клапана струминного модулю; 1 – робоче сопло; 2 – камера змішування; 3 – пакер; 4 – плунжер; 5 – клапан струминного модулю; 6 – клапан імпульсного модулю; 7 – імпульсна камера; 8 – клапан імпульсної камери.

Таблиця 1

Вихідні параметри для розрахунків

Параметр	Символ	Значення	Одиниці виміру	
Пластовий тиск	p_1	30	МПа	
Діаметр робочого сопла	d_b	4 ... 8	мм	
Діаметр камери змішування	d_3	6 ... 10	мм	
Довжина імпульсної камери	l	0,1 ... 1	м	
Густина рідини	ρ	980	кг/м ³	
Питомий об'єм рідини [4]	$v_n = v_3 = v_p = 1/\rho$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	м ³ /кг	
Модуль пружності рідини [5]	E_p	$1670 \cdot 10^6$	Н/м ²	
Рекомендовані на основі експериментів коефіцієнти швидкості [4]	сопла	φ_1	0,95	-
	камери змішування	φ_2	0,975	-
	вхідної ділянки камери змішування	φ_3	0,9	-
	дифузора	φ_4	0,925	-

В ході розрахунків отримано значення коефіцієнту інжекції, та представлено у табл. 2, що дає можливість оцінити кількість рідини, яка відкачується із свердловини при відповідному співвідношенні сопла та камери змішування в струминному апараті.

Для розрахунків прийнято геометричні параметри струминного насоса за умови, що коефіцієнт інжекції приймає максимальне значення. Математичні вирази, які використані для визначення раціональних параметрів комплексу зведені до табл. 3.

Таблиця 2

Результати розрахунків коефіцієнту інжекції

Діаметр робочого сопла, мм	4	5	6	7	8
Діаметр камери змішування, мм	6	7	8	9	10
Коефіцієнт інжекції, в.о.	0,44	0,32	0,24	0,19	0,15

Для застосування математичної моделі введено декілька умов:

1. Пластовий тиск p_1 відповідає гідростатичному для глибини свердловини 3000 м, та дорівнює 30 МПа.
2. Так як циркуляція рідини через імпульзійну камеру відсутня, то початкова швидкість рідини на вході в камеру дорівнює нулю.

Таблиця 3

Математичні вирази

Функція	Математичний вираз	Пояснення	Одиниці виміру
Відносний перепад тиску	$\frac{\Delta p_p}{\Delta p_3} = \frac{f_3}{f_p} / (\varphi_1^2 \cdot \varphi_2)$	f_3 - площа поперечного перерізу камери змішування, м ² ; f_p - площа поперечного перерізу робочого сопла, м ² .	-
Коефіцієнт інжекції	$u = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$n = \frac{f_3 / f_{n2}}{f_3 / f_{n2}} - 1$; f_{n2} - площа поперечного перерізу камери змішування, м ² . $a = (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{v_3}{v_p} - (2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4}) \cdot \frac{v_n}{v_p} \cdot n$; $b = 2(2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{v_3}{v_p}$; $c = \left[\varphi_1^2 \varphi_2^2 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_3} - (2 - \varphi_3^2) \frac{v_3}{v_p} \right]$.	-
Тому падіння тиску при переміщенні плунжера	$\Delta p = \frac{\Delta V}{\alpha_p \cdot V}$	ΔV - зміна об'єму імпульзійної камери, м ³ , α_p - коефіцієнт стискає мості, V - об'єм імпульзійної камери, м ³ .	МПа
Швидкість рідини за рівнянням Бернуллі за	$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_1}{\rho} - \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$	ρ - густина рідини г/м ³ ;	м/с
Підвищення тиску в свердловині за рахунок імпульзії [5]	$p_y = \rho \cdot c \cdot v_2$	$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho}}$ - швидкість поширення ударної хвилі в рідині при умові абсолютної жорсткості стінок імпульзійної камери.	МПа

Результатом є визначений за формулою Жуковського тиск гідравлічного удару в привибійній зоні свердловини. На рис. 3 представлено підвищення тиску в свердловині за рахунок гідравлічного удару.

Внаслідок гідравлічного удару спрацьовує клапан і в зоні перфорації генеруються хвильовий процес.

Окремі модулі запропонованого імпульзійно-хвильового комплексу – струминний насос та депресійний генератор імпульсів (з ефектом імпульзії) впроваджено в сервісному обладнанні НВО "Азгарт" (Україна) та ЗАО "Ренфорс" (РФ) за господарськими договорами цих організацій з НТУУ "КПІ". Застосування комплексу підтвердило практичну цінність його основних елементів, що дозволяє підвищити продуктивність оброблених свердловин на 5...7 тон нафти на добу.

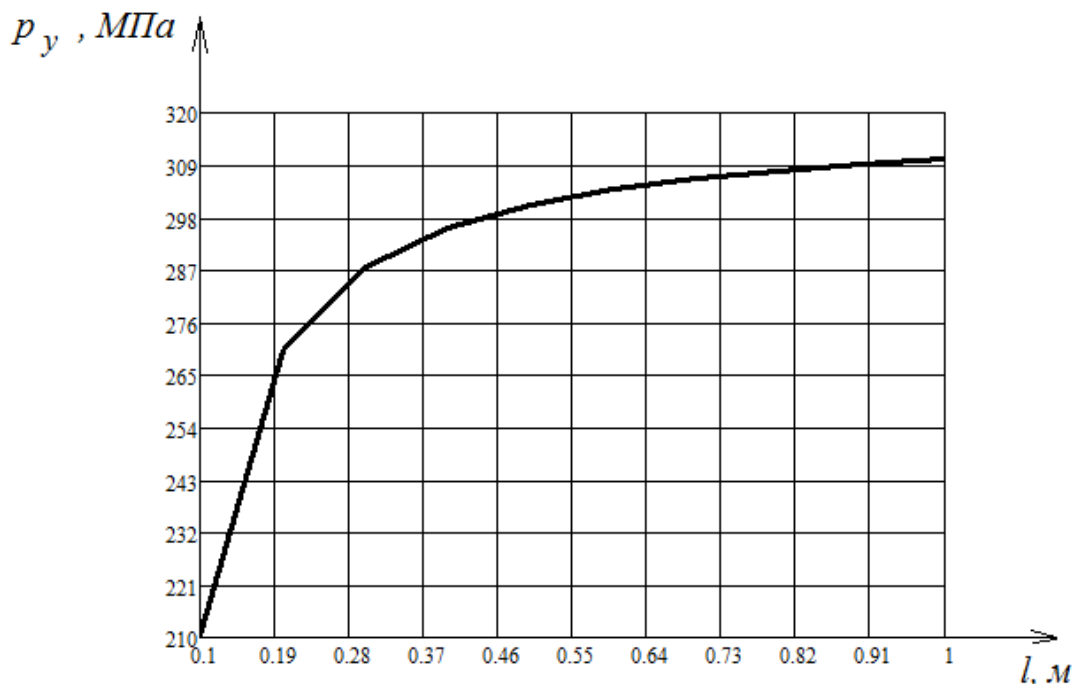


Рис. 3. Залежність ударного тиску в свердловині при зміні довжини імпульсійної камери

Висновки

Представлено структуру та визначено робочі характеристики струминного насосу: геометричні параметри конфузора, робочого сопла, камери змішування, дифузора, та їх взаємного позиціонування. Встановлені раціональні значення параметрів: діаметр сопла 4 мм, діаметр камери змішування 6 мм. За таких параметрів коефіцієнт інжекції складає 0,44.

Для довжини імпульсійної камери починаючи від 0,1 до 1 м з кроком 0,1 встановлено, що збільшення тиску внаслідок гідравлічного удару в залежності від довжини імпульсійної камери змінюється по гіперболічному закону. Максимальне значення ударного тиску в 310 МПа досягається при довжині імпульсійної камери 1 м. При цьому динамічний тиск в свердловині перевищує гідростатичний тиск на 17 МПа.

Практично підтверджена економічна ефективність елементів комплексу і комплекс рекомендується до широкого впровадження в енергетичній галузі України.

Список літератури

1. Попов А. А. Импульзия в процессах нефтедобычи./ Попов А.А. - М.: «Недра», 1996. – 186 с.
2. Патент на корисну модель 66234 Україна: МПК E21B 37/00 E21B 28/00. Струминний апарат депресивно-репресивної дії / Сліденко В.М., Лесик В.С., Лістовщик Л.К., Галба Є.В., Максютенко О.В., Бокало В.Я.; Заявитель і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» №201107590; заявл. 16.06.2011; опубл 26.12.2011 – 8 с Бюл №24.
3. Патент на корисну модель 73540 Україна: МПК E21B 37/06 E21B 28/00. Прямоточний струминний апарат депресивно-репресивної дії / Сліденко В.М., Лесик В.С., Лістовщик Л.К., Галба Є.В., Максютенко О.В., Бокало В.Я.; Заявитель і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» №201203640; заявл. 26.03.2012; опубл 25.09.2012 – 8 с Бюл №18.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты./ Соколов Е.Я., Зингер Н.М. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1970. – 288 с.
5. Коваль П. В. Гидравлика и гидропривод горных машин. / Коваль П. В. - М.: Машиностроение, 1979 – 319 с. (Учебник для вузов по специальности «горные машины и комплексы»)

V. Slidenko, L. Listovshchyk, E. Halba
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
**COMPLEX IMPLOSION AND WAVE ACTION TO IMPROVE PRODUCTIVITY
HYDROCARBON PRODUCTION**

Was presented complex implosion and wave action, which is synthesized through the use of the effect of implosion. Complex is generating wave process while pumping fluids from the well. Such an impact on Reservoir Systems can increase the permeability of the reservoir and increase productivity.

On the basis of the calculation schemes of the complex was created analytical model was justified and rational parameters of the device

The result has been obtained from the dependence of the injection parameter changes the jet pump. Was determined the value of increasing the pressure near the wellbore due to the phenomenon of implosion.

Keywords: oil well, implosion, permeability the reservoir, the injection efficiency.

1. Popov A. A. Imploziya v protsessah nefte dobychi. / Popov A.A. - M.: «Nedra», 1996. – 186 s.
2. Patent na korisnu model 66234 UkraYina: MPK E21V 37/00 E21V 28/00. Struminniyy aparat depresivno-represivnoYi dIYi / Slidenko V.M., Lesik V.S., Listovschik L.K., Galba E.V., Maksyutenko O.V., Bokalo V.Ya.; Zayavitel I vlasnik Natsionalniy tehniChniy unIversitet UkraYini «KiYivskiy polltehnIchniy Institut» #201107590; zayavl. 16.06.2011; opubl 26.12.2011 – 8 s Byul #24.
3. Patent na korisnu model 73540 UkraYina: MPK E21V 37/06 E21V 28/00. Pryamotochniy struminniyy aparat depresivno-represivnoYi dIYi / Slidenko V.M., Lesik V.S., Listovschik L.K., Galba E.V., Maksyutenko O.V., Bokalo V.Ya.; Zayavitel I vlasnik Natsionalniy tehniChniy unIversitet UkraYini «KiYivskiy polltehnIchniy Institut» #201203640; zayavl. 26.03.2012; opubl 25.09.2012 – 8 s Byul #18.
4. Sokolov E.Y., Zinger N.M. Struynnye apparaty. / Sokolov E.Ya., Zinger N.M. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Energiya, 1970. – 288 s.
5. Koval P. V. Gidravlika i gidroprivod gorniyh mashin. / Koval P. V. - M. :Mashinostroenie, 1979 – 319 s. (Uchebnik dlya vuzov po spetsialnosti «gornyye mashiny i kompleksyi»)

УДК 622.276

В. М. Слиденко, канд. техн. наук, доцент
Л.К. Листовщик, канд. техн. наук, доцент; **Є. В. Галба**
«Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
**КОМПЛЕКС ИМПЛОЗИЙНО-ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Представлен комплекс имплозионно-волнового воздействия, который синтезирован на основе использования эффекта имплозии. Комплекс генерирует волновой процесс с одновременной откачкой флюидов из скважины. Такое влияние на пластовую систему позволяет увеличить проницаемость коллектора и увеличить производительность.

На основе представленных расчетных схем комплекса создана аналитическая модель и обоснованы рациональные параметры устройства

В результате получены зависимости коэффициента инжекции от изменения параметров струйного насоса. Определено значение повышения давления в призабойной зоне за счет явления имплозии.

Ключевые слова: нефтяная скважина, имплозия, проницаемость коллектора, коэффициент инжекции.

Надійшла 15.01.2015

Received 15.01.2015

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В работе проанализированы основные факторы, влияющие на изменение ингредиентов природных водоемов. Рассмотрены современные методы прогнозирования гидрохимического состояния поверхностных вод. Определены основные недостатки существующих методов математического моделирования антропогенного воздействия на водные объекты. Предложено усовершенствованный способ комплексной оценки, основанный на графическом методе составления модель-карт качества водоемов.

Ключевые слова: прогнозирование, гидроэкосистемы, математическое моделирование, геоинформационная модель водозабора, географическая информационная система, цифровая модель рельефа, модель-карта.

Введение. Современные статистические данные подтверждают тенденцию ухудшения качества поверхностных вод бассейнов рек Украины. Поэтому, актуальной задачей является прогнозирование гидрохимического состояния поверхностных вод и необходимость уменьшения интенсивного воздействия на водные объекты, что приводит к угрожающему состоянию гидроэкосистем [1]. Химическое состояние поверхностных вод и его конструктивно-географическую оценку необходимо учитывать во время водоснабжения, гидротехнического строительства, мелиорации, добычи полезных ископаемых, производства промышленной продукции.

Цель и задачи. На сегодняшний день для оценки качества природных вод используют микробиологический анализ и физико-химические методы определения органолептических и токсикологических показателей [2]. Однако такие методы анализа водных объектов не дают возможности в полной мере оценивать и прогнозировать качество воды.

Таким образом, данная статья посвящена исследованию существующих методов прогнозирования и применению новых методик комплексной оценки качества природных водоемов.

Материал и результаты исследований. Оценка водных объектов осуществляется на основе использования гидрологических и гидрохимических характеристик, которые в совокупности определяют его эколого-гидрохимический состояние.

При анализе формирования водного и гидрохимического режима определяются основные факторы, которые существенно влияют на изменение того или иного ингредиента водоема. К таким относятся [3]:

- изменение речного стока;
- влияние подземного и дренажного стока;
- поступления дренажных вод с гидромелиоративных систем;
- поступления вод с загрязненными веществами с площади водозабора в виде промышленных и бытовых стоков;
- седиментация взвешенных в воде частиц;
- взбалтывания донных отложений;
- безвозвратное водопотребление;
- трансформация веществ вследствие физико-химических, биологических преобразований;
- испарение воды из поверхностных водоемов [4].

Математическое моделирование биологических процессов является одной из составляющих экологического прогноза. В этой сфере широко используется имитационное моделирование [5].

Имитационное моделирование – это тип моделирования, который включает в себя группу методов, что позволяют создавать модели и описывать происходящие процессы в экосистемах. Сама экосистема заменяется имитатором. С ним проводятся эксперименты для получения информации о системе.

С помощью классификации Е. А. Зилова, мы определили наиболее популярные модели данного типа с высокой прогностической эффективностью. К таким относятся:

1. Комплексные динамические модели;
2. Простые статистические расчётные модели [6].