

УДК: 622.21; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-2.04>  
<https://orcid.org/0000-0001-5185-3132>  
<https://orcid.org/0000-0002-1196-5268>  
<https://orcid.org/0000-0003-3997-8324>  
<https://orcid.org/0000-0003-2881-2855>  
<https://orcid.org/0000-0003-4707-3322>  
<https://orcid.org/0009-0003-4816-8814>

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН



**Г.К. УМИРОВА<sup>1</sup>**,  
доктор PhD,  
ассоциированный профессор,  
[g.umirova@satbayev.university](mailto:g.umirova@satbayev.university)



**Б.В. ФЕДОРОВ<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук,  
профессор, профессор-  
исследователь,  
[fedorovb20@mail.ru](mailto:fedorovb20@mail.ru)



**А.Е. КУТТЫБАЕВ<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук,  
профессор,  
[a.kuttybayev@satbayev.university](mailto:a.kuttybayev@satbayev.university)



**А.К. СУДАКОВ<sup>2</sup>**,  
доктор технических наук,  
профессор,  
[sudakov.a.a@nmu.one](mailto:sudakov.a.a@nmu.one)

**Б.Т. РАТОВ<sup>1</sup>**, доктор технических наук, профессор, [b.ratov@satbayev.university](mailto:b.ratov@satbayev.university)  
**И.Д. ТОВАСАРОВ<sup>1</sup>**, докторант, [tovirz@gmail.com](mailto:tovirz@gmail.com)

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,  
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

<sup>2</sup>НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ДНЕПРОВСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА",  
Украина, 49005, г. Днепр, пр. Дмитра Яворницкого, 19

*В статье рассматриваются конструктивно-технологические характеристики гравийных фильтров, применяемых при бурении водозаборных скважин. Целью исследования является совершенствование технологии изготовления криогенно-гравийных фильтров, а также оптимизация их конструктивных и технологических параметров для повышения эффективности эксплуатации водоносных пластов. Особое внимание уделено вопросам повышения прочности фильтровых элементов, оптимизации состава исходных компонентов и улучшения эксплуатационных характеристик при работе в скважинах с высоким дебитом.*

*Методы исследования основаны на аналитических расчетах и инженерном моделировании параметров гравийных фильтров. Разработана методика определения объема гравийной обсыпки, расчета геометрических параметров фильтра, а также оценки прочности омоноличенных кольцевых элементов с учетом их взаимодействия с водой. Используются зависимости для определения коэффициента фильтрации, допустимой скорости фильтрации и напряженного состояния фильтровых элементов. Проведены экспериментальные исследования прочности образцов гравийного материала при воздействии воды во времени, что позволило учесть процессы размоноличивания при эксплуатации.*

*Результаты исследования включают разработку комплексной методики расчета конструктивных параметров гравийных фильтров и установление закономерностей изменения прочности их элементов. Определена величина понижения уровня гравийной обсыпки при её размоноличивании и показано влияние зазора между фильтром и стенками скважины на этот процесс. Обоснованы рекомендации по выбору рациональных параметров фильтра и условий его монтажа, включая необходимость дополнительной засыпки гравия в сложных геологических условиях. Полученные результаты направлены на повышение надежности и эффективности эксплуатации водозаборных скважин.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гравийные фильтры; инверсная технология; элементы фильтра; гравийная обсыпка; зафильтровое пространство.

## ҰҢҒЫМАЛАРДЫ БҰРҒЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚИЫРШЫҚТАС СҮЗГІЛЕРДІҢ КОНСТРУКТИВТІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

**Г.К. УМИРОВА**<sup>1</sup>, Ph.D. докторы, қауымдастырылған профессоры, [g.umirova@satbayev.university](mailto:g.umirova@satbayev.university)

**Б.В. ФЕДОРОВ**<sup>1</sup>, техникалық ғылымдар докторы, профессор, зерттеуші профессор, [fedorovb20@mail.ru](mailto:fedorovb20@mail.ru)

**А.Е. КУТТЫБАЕВ**<sup>1</sup>, техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, [a.kuttybayev@satbayev.university](mailto:a.kuttybayev@satbayev.university)

**А.К. СУДАКОВ**<sup>2</sup>, техникалық ғылымдар докторы, [sudakov.a.a@nmu.one](mailto:sudakov.a.a@nmu.one)

**Б.Т. РАТОВ**<sup>1</sup>, техникалық ғылымдар докторы, профессор, [b.ratov@satbayev.university](mailto:b.ratov@satbayev.university)

**И.Д. ТОВАСАРОВ**<sup>1</sup>, докторанты, [tovirz@gmail.com](mailto:tovirz@gmail.com)

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,  
Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., Сәтбаев к., 22

<sup>2</sup>«ДНЕПРОВСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА» ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,  
Украина, 49005, Днепр қаласы, Дмитро Яворницкий даңғылы, 19.

Мақалада су алу ұңғымаларын бұрғылау кезінде қолданылатын гравийлі сүзгілердің конструктивтік-технологиялық сипаттамалары қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – криогенді-гравийлі сүзгілерді дайындау технологиясын жетілдіру және олардың конструктивтік әрі технологиялық параметрлерін оңтайландыру арқылы су өткізгіш қабаттарды пайдаланудың тиімділігін арттыру. Зерттеуде сүзгі элементтерінің беріктігін арттыру, бастапқы қоспа құрамын оңтайландыру және жоғары дебитті ұңғымаларда пайдалану кезіндегі эксплуатациялық көрсеткіштерді жақсарту мәселелеріне ерекше назар аударылған.

Зерттеу әдістері гравийлі сүзгілердің параметрлерін аналитикалық есептеу және инженерлік модельдеу тәсілдеріне негізделген. Гравийлі толтырманың көлемін анықтау, сүзгінің геометриялық параметрлерін есептеу, сондай-ақ су әсерін ескере отырып монолитті сақиналы элементтердің беріктігін бағалау әдістемесі өзіндік. Сонымен қатар, сүзу коэффициентін, рұқсат етілетін сүзу жылдамдығын және сүзгі элементтерінің кернеулік күйін анықтайтын тәуелділіктер қолданылған. Гравий материалынан дайындалған үлгілердің су әсеріндегі уақытқа байланысты беріктігін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізіліп, пайдалану кезінде болатын демонолизация (ыдырау) үдерістері ескерілген.

Зерттеу нәтижесінде гравийлі сүзгілердің конструктивтік параметрлерін есептеудің кешенді әдістемесі ұсынылып, олардың беріктік сипаттамаларының өзгеру заңдылықтары анықталған. Гравийлі толтырманың демонолизациясы кезінде оның деңгейінің төмендеу шамасы анықталып, бұл үдеріске сүзгі мен ұңғыма қабырғасы арасындағы саңылаудың әсері көрсетілген. Сүзгінің оңтайлы параметрлерін және монтаждау шарттарын таңдау бойынша, соның ішінде күрделі геологиялық жағдайларда қосымша гравиймен толтыру қажеттілігі жөнінде ұсыныстар негізделген. Алынған нәтижелер су алу ұңғымаларын пайдаланудың сенімділігі мен тиімділігін арттыруға бағытталған.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** гравийлі сүзгілер, инверсиялық технология, сүзгі элементтері, гравийлі толтырма, сүзілген кеңістік.

## DESIGN AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GRAVEL FILTERS FOR WELL DRILLING

**G.K. UMIROVA**<sup>1</sup>, PhD., associate professor, [g.umirova@satbayev.university](mailto:g.umirova@satbayev.university)

**B.V. FEDOROV**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, research professor, [fedorovb20@mail.ru](mailto:fedorovb20@mail.ru)

**A.E. KUTTYBAEV**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, professor, [a.kuttybayev@satbayev.university](mailto:a.kuttybayev@satbayev.university)

**A. K. SUDAKOV**<sup>2</sup>, doctor of technical sciences, professor, [sudakov.a.a@nmu.one](mailto:sudakov.a.a@nmu.one)

**B.T. RATOV**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, [b.ratov@satbayev.university](mailto:b.ratov@satbayev.university)

**I.D. TOVASSAROV**<sup>1</sup>, doctoral student, [tovirz@gmail.com](mailto:tovirz@gmail.com)

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,

Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, Satpaeva str., 22

<sup>2</sup>NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY “DNIPRO POLYTECHNIC”,

Ukraine, 49005, Dnipro, Dmytro Yavornytskyi ave., 19

*The article examines the design and technological characteristics of gravel filters used in water well drilling. The aim of the study is to improve the manufacturing technology of cryogenic gravel filters and to optimize their design and technological parameters in order to enhance the efficiency of aquifer exploitation. Particular attention is paid to increasing the strength of filter elements, optimizing the composition of the initial mixture, and improving operational performance under high-yield well conditions.*

*The research methods are based on analytical calculations and engineering modeling of gravel filter parameters. A methodology has been developed for determining the volume of gravel packing,*

*calculating the geometric parameters of the filter, and assessing the strength of monolithic annular elements, taking into account their interaction with water. The study employs relationships for determining the filtration coefficient, permissible filtration velocity, and the stress-strain state of filter elements. Experimental investigations were conducted to evaluate the strength of gravel material samples under time-dependent water exposure, enabling consideration of demobilization processes during operation.*

*The results of the study include the development of a comprehensive method for calculating the structural parameters of gravel filters and the establishment of patterns in the variation of their mechanical strength. The decrease in the level of gravel packing during demobilization has been quantified, and the influence of the annular gap between the filter and the borehole wall on this process has been demonstrated. Recommendations are substantiated for selecting optimal filter parameters and installation conditions, including the need for additional gravel backfilling in complex geological environments. The obtained results contribute to improving the reliability and efficiency of water well operation.*

**KEYWORDS:** gravel filters, inversion technology, filter elements, gravel packing, filtered space.

**В**ведение. Практика сооружения водозаборных скважин [1-4] показывает, что наибольшей эксплуатационной эффективностью обладают скважины, оснащённые гравийными фильтрами, выполненными по технологии двойной инверсии. Гравийная обсыпка таких фильтров омоноличивается на поверхности с использованием склеивающих веществ (например, желатина) и последующим высушиванием кольцевых гравийных блоков - основных элементов фильтра. При монтаже на каркасно-проволочную основу и спуске в скважину гравийные блоки постепенно размоноличиваются под действием воды. После достижения водоносного пласта склеивающее вещество полностью вымывается, сохраняя первоначальную проницаемость рыхлой обсыпки фильтра.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексного подхода к проектированию криогенно-гравийных фильтров, учитывающего изменение прочностных характеристик омоноличенных элементов во времени под воздействием воды, а также в установлении закономерности изменения уровня гравийной обсыпки в зависимости от конструктивного зазора. Полученные результаты обеспечивают повышение надёжности и эффективности эксплуатации водозаборных скважин в различных геолого-технических условиях.

### **Материалы и методы исследования**

Вместе с тем, существуют определённые резервы для дальнейшего улучшения конструктивных и технологических параметров упомянутых гравийных фильтров, применяемых для эксплуатации водозаборных скважин. Это связано с решением задач по оптимизации количества исходных компонентов при приготовлении и омоноличивании кольцевых элементов гравийного фильтра, а также с улучшением конструктивных параметров последнего, в особенности при сооружении скважин с большим дебитом.

В этой связи целью работы является улучшение технологии изготовления криогенно-гравийных фильтров, а также совершенствование их конструктивных и технологических параметров при эксплуатации водоносных пластов.

Для реализации поставленной цели требуется выполнить следующие задачи:

- разработка методики расчёта исходных компонентов при изготовлении необходимого объёма гравийной обсыпки в зависимости от конструкции водозаборной скважины и гидрогеологических параметров водоносного пласта;

- расчёт параметров при монтаже гравийных кольцевых элементов с учётом их прочности;
- изменение конструктивных параметров фильтра в сторону их улучшения путём расчёта уровня гравийной обсыпки в зафильтровом пространстве и выработки рекомендаций по повышению эксплуатационных характеристик гравийного фильтра.

Для решения упомянутых задач необходимо знать следующие исходные данные [7-10]:

- глубина скважины до кровли  $h_k$  и подошвы  $h_n$  водоносного пласта;
- статический  $h_{ст}$  и динамический  $h_{дин}$  уровни воды в скважине (уровни воды до и при откачке воды с заданным дебитом);
- диаметры (наружный и внутренний) эксплуатационной и фильтровой обсадных колонн;
- вид и содержание компонентов в исходной смеси для создания и омоноличивания кольцевых элементов гравийного фильтра;
- проектный дебит скважины;
- гранулометрический состав водоносного пласта.

### Результаты и обсуждение

Первоначально определяется общий объём  $V_0$  гравия (без учёта воды и клеящего компонента) для изготовления кольцевых элементов фильтра:

$$V_0 = \frac{\pi}{4} (d_{фн}^2 - d_{фвн}^2) l_p, \quad (1)$$

где  $d_{фн}$ ,  $d_{фвн}$  - соответственно наружный и внутренний диаметры омоноличенных кольцевых элементов фильтра;  $l_p$  - рабочая длина гравийного фильтра.

Внутренний диаметр  $d_{фвн}$  определяется следующих соображений: омоноличенные кольцевые элементы чаще всего размещаются на каркасно-проволочной основе, причем ее центральную часть представляет дырчатый интервал фильтровой колонны с проложенными вдоль стальными стержнями [11-13]. Последние обматываются проволокой с определённым шагом. Поэтому внутренний диаметр кольцевого гравийного  $d_{фвн}$  элемента [14,15] определяется с учетом свободного их прохода через карасно-гроволочную основу из соотношения:

$$d_{фвн} = d_0 + 2\alpha + 2v + 1 \div 2\text{мм}, \quad (2)$$

$d_0$  - диаметр дырчатого фильтра, равный диаметру фильтровой колонны; величина  $d_0$  должно быть больше 100 мм учетом требований ремонта:  $d_0 \geq 100\text{мм}$  [2].

$\alpha$  - диаметр продольных стержней;  $\alpha = 2 \div 3\text{мм}$ ,

$v$  - диаметр наматываемый проволоки  $v = 2 \div 3\text{мм}$ .

Для определения наружного диаметра  $d_{фн}$  омонололиченного элемента фильтра используется формула:

$$d_{фн} = d_{фвн} + 2K, \quad (3)$$

где  $K$  — толщина (по радиусу) одноимённого кольцевого элемента гравийной обсыпки: по рекомендациям [5, 6] наиболее часто величина  $K$  принимается равной  $K=15 \div 25\text{мм}$ .

Попутно определяется диаметр эксплуатационной колонны, который должен быть наружного диаметра фильтра  $d_{\text{фн}}$  на  $15 \div 20$  мм.

Длина рабочей части гравийного фильтра  $l_{\rho}$  определяется по следующей формуле [2, 16-18]:

$$l_{\rho} = 7,643Q / d_{\text{фн}} \cdot v_{\text{ф}} \quad , (4)$$

где  $Q$  - дебит скважины,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$v_{\text{ф}}$  - допускаемая скорость фильтрации, определяемая по формуле [2]:

$$v_{\text{ф}} = 65 \sqrt{K_{\text{ф}}} \quad (5)$$

где  $K_{\text{ф}}$  - коэффициент фильтрации, вычисляемый по формуле [2]:

$$K_{\text{ф}} = 36Q / (h_{\text{ст}} - h_{\text{дин}}) \times (h_n - h_k) \quad (6)$$

где  $h_{\text{ст}}$  -  $h_{\text{дин}}$  - статический и динамический уровни воды, м;

$h_n$  -  $h_k$  - соответственно глубины подошвы и кровли (мощность водоносного пласта); м.

Таким образом, определены все компоненты, входящие в формулу (1), что позволяет вычислить необходимый общий объём гравия для изготовления гравийного фильтра. При создании последнего значительной длины (например, при эксплуатации водообильного водоносного пласта большой мощности) изготовленные кольцевые диски размещаются поинтервально, звеньями, разделенными неподвижными конструктивными элементами (муфтами). Это позволит снизить нагрузку на нижний кольцевой диск каждого звена в сравнении с тем, если бы диск испытывал сжимающее усилие от всех дисков при их размещении в одном интервале. Рассмотрим это положение на примере (рис.1.) [19-22].

Допустим, при рабочей длине фильтра  $L$  в последнем содержится несколько кольцевых элементов гравийного фильтра, причём нижний кольцевой диск конструктивно взаимодействует с жёстким упором 5, а верхний диск - с упором 10 (рис. 1). Из рисунка следует, что наибольшее напряжение сжатия будет испытывать нижний слой кольцевого элемента гравийного фильтра, примыкающего к упору 5. Вес всех элементов секции в воде равен:

$$P = (\gamma_{\text{гр}} - \gamma_{\text{в}}) \cdot \pi/4 (d_{\text{фн}}^2 - d_{\text{фвн}}^2) L \quad (7)$$

где  $\gamma_{\text{в}}$  - удельный вес воды  $\text{н}/\text{м}^3$ ;  $\gamma_{\text{гр}}$  - удельный вес гравия,  $\text{н}/\text{м}^3$ ;  $d_{\text{фн}}$ ,  $d_{\text{фвн}}$  - соответственно наружный и внутренний диаметры кольцевого элемента фильтра [23,24].

Напряженное состояние, которое испытывает нижняя часть кольцевого диска, примыкающего к упору 5 (рис 2), характеризуется следующей зависимостью:

$$\delta_{\text{сж}} = (\gamma_{\text{ср}} - \gamma_{\text{в}}) \cdot L < \delta_{\text{сжвр}} \quad , (8)$$

где  $\delta_{\text{сжвр}}$  - предел прочности на сжатие омоноличенного материала кольцевых дисков.

При спуске фильтра в результате взаимодействия с водой, находящейся в скважине, прочность фильтра на сжатие  $\delta_{\text{сж}}$  кольцевых дисков снижается. С учетом снижения этого показателя в результате последний реально становится равным  $\delta_{\text{сжвр}}$ , что вызовет разрушение диска и превращение его в рыхлое состояние. Этот же процесс произойдёт и со всеми вышележащими дисками.

Предел прочности гравийного кольцевого диска фильтра можно определить приближённо, используя данные испытаний на прочность при сжатии кубиков, из-

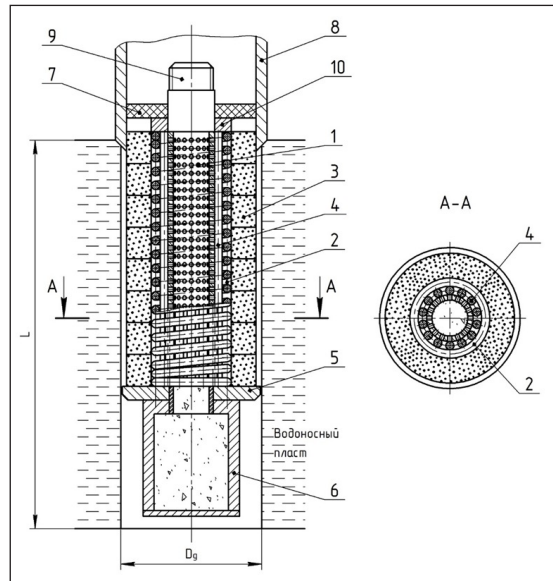
готовленных из того же гравийного материала, что и кольцевые элементы фильтра.

Кубики размерами 5×5×5 см высушиваются в сушильной камере, последовательно помещаются в воду на фиксированные промежутки времени и испытываются на сжатие, причем испытанию отдельно подвергаются образцы, выполненные с одинаковыми величинами компонентов (желатин, гравий, вода). В результате получены зависимости  $\delta_{сж}^p = \delta_{сж} \beta(t)$ , где  $t$  – время воздействия воды на кубик. Полученные зависимости позволяют определить прочность кольцевых элементов с учетом времени спуска и установки фильтровой колонны в интервале водоносного пласта.

Полученные сравнительные результаты испытаний образцов позволяют также выбрать рациональную длину фильтра с гарантией прочности его нижнего кольцевого элемента во время спуска фильтровой колонны.

Рассмотрим процесс заполнения зафильтрового пространства гравийной обсыпкой, который происходит через заданное время под воздействием воды на монолитные гравийные диски фильтра. При разнооличивании последних в результате заполнения зафильтрового пространство обсыпки уровень её понижается за счёт того, что необходимо заполнить дополнительный объём (пространство между диаметром  $d_{\text{фн}}$  фильтра и диаметром  $D_{\text{д}}$  вскрытого пласта) (рис.1). Определим уровень упомянутого понижения. Первоначально из зависимости (1) определим длину монолитного фильтра:

$$l_p = \frac{\vartheta_0 \cdot 4}{\pi(d_{\text{фн}}^2 - d_{\text{фвн}}^2)} \quad (9)$$



1 – дырчатый каркас; 2 – проволочная обмотка; 3 – кольцевые диски (блоки гравийного фильтра); 4 – стальные стержни; 5 – нижний упор 6 – отстойник; 7 – сальник герметизатор; 8 – водоподъемная колонна; 9 – фильтровая колонна; 10 – верхний упор.

Рисунок 1 – Схема фильтровой части гидрогеологической скважины

Точно так же вычисляем длину зафильтрового пространства  $l$  при заполнении гравийной обсыпкой объёма  $\vartheta_0$ .

Понижение уровня рыхлой гравийной обсыпки  $X$  составит:

$$X = \Delta l = l_p - l_0 = \frac{4V_0}{\pi} \left( \frac{l}{a_{\text{фн}}^2 - a_{\text{фвн}}^2} \right) - \left( \frac{l}{a_{\text{д}}^2 - a_{\text{ф}}^2} \right). \quad (10)$$

Пример расчета. Исходные данные:  $Q = 8 \text{ л/с} = 28,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $h_{\text{ст}} = 12 \text{ м}$ ;

$h_{\text{дин}} = 18 \text{ м}$ ;  $H_k = 160 \text{ м}$ ;  $H_k = 180 \text{ м}$ ;  $d_{\text{фк}} = 127 \text{ мм}$ .

Определяем конечные размеры гравийного фильтра.

Расчет внутренний диаметр кольцевых дисков гравийного фильтра из зависимости (2) будет равен:

$$d_{\text{фвн}} = 127 + 2a + 2b + 1 = 127 + 2 \times 3 - 2 \times 2 + 1 = 127 + 6 + 4 + 1 = 138 \text{ мм}.$$

Рациональная толщина омоноличенных гравийных дисков фильтра принимается равной  $K=15-25 \text{ мм}$  [2]. При средней величине  $K=20 \text{ мм}$  наружный диаметр гравийных дисков фильтра будет  $d_{\text{фна}} = 138 + 2 \times 20 = 138 + 40 = 178 \text{ мм}$ . Ближайший диаметр: бурения по водоносному пласту будет.  $D_{\text{д}}=190 \text{ мм}$ .

По формуле (1) находим объём гравия для создания гравийного фильтра. Первоначально определяем по формуле (4) длину рабочей части фильтра. Для этого по формулам (5), (6) определяем коэффициенты фильтрации  $K_{\text{ф}}$  и допустимую скорость фильтрации  $\vartheta_{\text{ф}}$ .

$$K_{\text{ф}} = 36 \times 28,8 / (180 - 160)(18 - 12) = 8,64;$$

$$\vartheta_{\text{ф}} = 65 \sqrt[3]{8,64} = 132 \text{ м/сут}.$$

Длина рабочей части омоноличенного фильтра равна:

$$l_p = 7,643 \times 28,8 / 0,178 \times 1,32 = 220,12 / 23,5 = 9,4 \text{ м}.$$

Потребный объём гравия  $V_0$  составит-

$$V_0 = \frac{\pi}{4} [(0,178^2) - (0,138)^2] 9,4 = 0,785 [0,032 - 0,019] 9,4 = 0,1 \text{ м}^3.$$

Длина обсыпки  $l_0$  при заполнением гравием того же объём  $V_0$  зафильтрового пространства:

$$l_0 = \frac{0,1}{\frac{\pi}{4} (0,192^2 - (0,138)^2)} = \frac{0,1}{0,178(0,036 - 0,019)} = \frac{0,096}{0,013} = 7,38 \text{ см} \approx 7,4 \text{ м}.$$

Понижение  $X$  уровня обсыпки составит:

$$X = 9,4 - 7,4 \approx 2 \text{ м}.$$

Если увеличить наружный диаметр гравийного фильтра до  $d_{\text{фн}} = 0,185 \text{ м}$ , то объём гравия после размоноличивания дисков фильтра составит:

$V_0 = \frac{\pi}{4} [(0,185)^2 - (0,138)^2] \times 9,4 = 0,785(0,0342 - 0,019) \times 9,4 = 0,785 \times 0,0162 \times 9,4 = 0,1195 \text{ м}^3$ , а длина гравийной обсыпки в зафильтровом пространстве составит:


$$l_0^1 = \frac{0,1195}{0,013} = 9,19 \text{ м}$$

Понижение уровни обсыпки составит  $X=9,4-9,19=0,21 \text{ м}$ .

Таким образом, для уменьшения понижения уровня при размоноличивании гравийной обсыпки нужно получить минимальный зазор между диаметрами гравийного фильтра в монолитном состоянии и диаметром вскрытия водоносного пласта. В приведенных расчетах упомянутый зазор составляет 2,5 мм на сторону  $((190-185)/2)$ . Такой зазор зачастую недостаточен при бурении глубоких скважин или при бурении сложных в сложных геологических условиях (при искривлении скважин).

Поэтому в таких условиях необходимо придерживаться общих рекомендаций по определению величины упомянутого зазора, который должен быть в пределах 7,5–10 мм. В этом случае рекомендуется повышать уровень обсыпки фильтра путём подачи небольшого количества гравия с поверхности через бурильные трубки и специальное устройство, расположенное над гравийным фильтром.

### **Заключение и выводы**

В настоящей работе разработана методика расчёта объёма гравийной обсыпки и геометрических параметров гравийного фильтра, учитывающая как гидрогеологические характеристики водоносного пласта, так и конструктивные особенности скважины. Предложен комплексный подход к оценке прочностных характеристик монолитных кольцевых элементов фильтра с учётом их снижения под воздействием воды в процессе спуска фильтровой колонны и эксплуатации скважины. Получена количественная зависимость понижения уровня гравийной обсыпки при размоноличивании от величины зазора между наружным диаметром фильтра и стенками скважины, что позволяет прогнозировать поведение фильтра в реальных гидрогеологических условиях. На основании проведённых расчётов и анализа механики взаимодействия элементов фильтра с водой обоснованы конструктивные и технологические рекомендации по повышению эксплуатационной эффективности гравийных фильтров, включающие оптимизацию зазора между фильтром и стенками скважины, а также необходимость дополнительной засыпки гравия при монтаже. Данные результаты способствуют повышению надёжности и долговечности водозаборных скважин, а также обеспечивают рациональное использование материалов и оптимизацию технологических процессов при сооружении фильтровых систем. 

*Благодарности: Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23487129).*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кожевников А.А, Судаков А.К, Ратов Б.Т, Отебаев М. Гравийные фильтры буровых скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые. Алматы КазНТУ, 2015. [Kozhevnikov A.A., Sudakov A.K., Ratov B.T., Otebaev M. Graviynye filtry burovyykh skvazhin na zhidkie i gazoobraznye poleznye iskopaemye. Almaty: KazNTU, 2015]
2. Федоров Б.В Бурение скважин. Алматы КазНТУ, 2016. [Fedorov B.V. Burenie skvazhin. Almaty: KazNTU, 2016]
3. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин М.Недра, 1985. [Gavrilkov V.M., Alekseev V.S. Filtry burovyykh skvazhin. M.: Nedra, 1985]
4. Кожевников А.А, Судаков А.К. Криогенно-гравийные фильтры буровых скважин Днепрпетровск. Литограф, 2014. [Kozhevnikov A.A., Sudakov A.K. Krioghenno-graviynnye filtry burovyykh skvazhin. Dnepropetrovsk: Litograf, 2014]
5. Патент РК №31416 Гравийный фильтр, опубл. 2016, бюл №9. Патенто-обладатель-КазНТУ им. К.И.Сатпаева. Авторы Кожевников А.А, Ратов Б.Т, Судаков А.К, Утепов З.Г, Коргасбеков Д.Р, Тулепбергенов А.Т. [Patent RK №31416. Graviynnyy filtr, opubl. 2016, byl. №9. Patentooobladatel: KazNITU im. K.I. Satpaeva. Avtory: Kozhevnikov A.A., Ratov B.T., Sudakov A.K., Uteпов Z.G., Korgasbekov D.R., Tulepbergenov A.T.]

6. Башкатов Д.Н, Панков А.В и др. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. М.Недра, 1985. [Bashkatov D.N., Pankov A.V. i dr. Progressivnaya tekhnologiya bureniya gidrogeologicheskikh skvazhin. M.: Nedra, 1985]
7. Патент РК №30818 Гравийный фильтр опублик. 2015, бюл. 12. Авторы: V Кожевников А.А, Ратов Б.Т, Судаков А.К, Утепов З.Г. [Patent RK №30818. Graviynnyy filtr, opubl. 2015, byl. 12. Avtory: Kozhevnikov A.A., Ratov B.T., Sudakov A.K., Uteпов Z.G.]
8. Кожевников А.А., Ратов Б.Т., Судаков А.К., Камышацкий А.Ф., Утепов З.Г. Новое в технологии оборудования гидрогеологических скважин гравийными фильтрами. / Горный журнал Казахстана № 01 (117) 2015г. С:10-14. (ISSN 2227-4766) г.Алматы [Kozhevnikov A.A., Ratov B.T., Sudakov A.K., Kamyshatskiy A.F., Uteпов Z.G. Novoe v tekhnologii oborudovaniya gidrogeologicheskikh skvazhin graviynnymi filtrami. Gornyy Zhurnal Kazakhstana №01 (117), 2015, S.10–14. ISSN 2227-4766, Almaty]
9. Кожевников А.А., Ратов Б.Т., Судаков А.К., Мостинец О.Н. Опыт оборудования гидрогеологической скважины криогенно-гравийным фильтром. «Разработка месторождений 2015: Ежегодный научно-технический сборник / редкол.: В.И. Бондаренко и др. – Д.: Литограф, 2015. – 546 стр.». ISBN 978-966-2267-87-7. С:493-499. г. Днепрпетровск. [Kozhevnikov A.A., Ratov B.T., Sudakov A.K., Mostinets O.N. Opyt oborudovaniya gidrogeologicheskoy skvazhiny krioghenno-graviynym filtrom. Razrabotka mestorozhdeniy 2015: Ezhegodnyy nauchno-tekhnicheskiy sbornik / redkol.: V.I. Bondarenko i dr. – D.: Litograf, 2015, S.493–499. ISBN 978-966-2267-87-7, Dnepropetrovsk]
10. Кожевников А. А., Судаков А. К., Ратов Б. Т., Камышацкий А. Ф. Определение скважности и пористости рыхлой гравийной обсыпки гравийного фильтра. Часть 1. «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: ISSN 2223-3938. Сборник научных трудов. – Вып. 18. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 13–20 сентября 2015 г. С: 151-154.» [Kozhevnikov A.A., Sudakov A.K., Ratov B.T., Kamyshatskiy A.F. Opređenje skvazhnosti i poristosti rykhloy graviynoy obsypki graviynogo filtra. Chast 1. Porodorazrushayushchiy i metallobrabatyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: Sbornik nauchnykh трудов. Vyp. 18. Kiev: ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy, Truskavets, 2015, S.151–154. ISSN 2223-3938]
11. Кожевников А. А., Судаков А. К., Камышацкий А. Ф., Ратов Б. Т. «Определение скважности и пористости рыхлой гравийной обсыпки гравийного фильтра. Часть» / Форум горняков - 2015: материалы междуна. конф., 30 сентября - 3 октября в 2015, г. Днепрпетровск. - Д.: Национальный горный университет, 2015. - Т. 3. - 252 С. 57-61 [Kozhevnikov A.A., Sudakov A.K., Kamyshatskiy A.F., Ratov B.T. Opređenje skvazhnosti i poristosti rykhloy graviynoy obsypki graviynogo filtra. Chast. Forum gornyakov – 2015: Materialy mezhdun. konf., 30 sentyabrya–3 oktyabrya 2015, Dnepropetrovsk. – D.: Natsionalnyy gornyy universitet, 2015, T.3, S.57–61]
12. Кожевников А.А., Отебаев М., Судаков А.К., Ратов Б.Т. Гравийные фильтры буровых скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые / Издание КазНТУ им.К.И. Сатпаева г. Алматы, ул. Сатпаева 22. 2015г. С-346 [Kozhevnikov A.A., Otebaev M., Sudakov A.K., Ratov B.T. Graviynnye filtry burovyykh skvazhin na zhidkie i gazoobraznye poleznye iskopaemye. Izdanie KazNTU im. K.I. Satpaeva, Almaty, ul. Satpaeva 22, 2015, S.346]
13. Ратов Б. Т., Судаков А. К., Кожевников А. А., Коргасбеков Д. Р., Утепов З. Г. Гравийные фильтры буровых скважин со съемным защитным кожухом. Промышленность Казахстана.: № 6 (93), 2015, С: 83-85, (ISSN 1608-8425). [Ratov B.T., Sudakov A.K., Kozhevnikov A.A., Korgasbekov D.R., Uteпов Z.G. Graviynnye filtry burovyykh skvazhin so syemnym zashchitnym kozukhom. Promyshlennost Kazakhstana, №6 (93), 2015, S.83–85. ISSN 1608-8425]

14. Кожевников А.А., Ратов Б.Т., Судаков А.К., Утепов З.Г. Инновационный патент РК. (Авторская свидетельства) № 914114. Гравийный фильтр. № 30818; опубл. 25.12.2015, Бюл. №12. [Kozhevnikov A.A., Ratov B.T., Sudakov A.K., Uteпов Z.G. Innovatsionnyy patent RK (Avtorskaya svidetel'stvo) №914114. Graviynnyy filtr №30818; opubl. 25.12.2015, Byl. №12]
15. Кожевников А. А., Хоменко В. Л., Ратов Б. Т., Токтасынов А., Мусаев Е., Многофакторный регрессионный анализ стендовых исследований процесса транспортировки криогенно-гравийного фильтра по стволу скважины. / 16. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 21. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 16–21 сентября 2018 г. С: 119–126. ISSN 2223-3938. Украина [Kozhevnikov A.A., Khomenko V.L., Ratov B.T., Toktasynov A., Musaev E. Mnogofaktornyuy regressionnyy analiz stendovykh issledovaniy protsessa transportirovki krioghenno-graviynogo filtra po stvolu skvazhiny. Porodorazrushayushchiy i metallobrabatyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: Sbornik nauchnykh trudov, Vyp.21, Kiev: ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy, Truskavets, 2018, S.119–126. ISSN 2223-3938]
16. Судаков А.К., Ратов Б.Т., Дреус А.Ю., Судакова Д.А. Производственные исследования технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенным блочным гравийным фильтром / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: «Инструментальное материаловедение». Сборник научных трудов. – Вып. 23. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 20–26 сентября 2020 г. С: 50–65. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65 [Sudakov A.K., Ratov B.T., Dreus A.Yu., Sudakova D.A. Proizvodstvennyye issledovaniya tekhnologii oborudovaniya gidrogeologicheskoy skvazhiny krioghenno-blochnym graviynym filtrom. Porodorazrushayushchiy i metallobrabatyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: Instrumental'noye materialovedeniye. Sbornik nauchnykh trudov, Vyp.23, Kiev: ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy, Truskavets, 2020, S.50–65. ISSN 2223-3938. DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65]
17. Патент РК. Ратов Б.Т., Куттыбаев А.Е., Тогашева А.Р., Сарбопеева М.Д., Судаков А.К., Павличенко А.В., Шумов А.С. (2025). Блочный гравийный фильтр для строительства скважин №37234 Заявка (21) 2024/0096.1 ((22) 31.01.2024 (45). опуб. от 14.03.2025, бюл. №11 [Patent RK. Ratov B.T., Kuttybaev A.E., Togasheva A.R., Sarbopeyeva M.D., Sudakov A.K., Pavlichenko A.V., Shumov A.S. (2025). Blochnyy graviynnyy filtr dlya stroitelstva skvazhin №37234. Zayavka (21) 2024/0096.1, (22) 31.01.2024, opubl. 14.03.2025, Byl. №11]
18. Патент РК. Кульдеев Е.И., Ратов Б.Т., Куттыбаев А.Е., Муратова С.К., Омирзакова Э.Ж., Судаков А.К., Павличенко А.В., Шумов А.С., Сундетова П.С., Жәңгірханова А.А. (2025). Блочный гравийный фильтр для строительства скважин. №37252 Заявка (21) 2024/0126.1 ((22) 12.02.2024 (45). опуб. от 28.03.2025, бюл. №13 [Patent RK. Kul'deev E.I., Ratov B.T., Kuttybaev A.E., Muratova S.K., Omirzakova E.Zh., Sudakov A.K., Pavlichenko A.V., Shumov A.S., Sundetova P.S., Zhanqirhanova A.A. (2025). Blochnyy graviynnyy filtr dlya stroitelstva skvazhin №37252. Zayavka (21) 2024/0126.1, (22) 12.02.2024, opubl. 28.03.2025, Byl. №13]
19. Патент РК. Умирова Г.К., Ратов Б.Т., Судаков А.К., Судакова Д.А., Куттыбаев А.Е., Тогашева А.Р., Сарбопеева М.Д., Жәңгірханова А.А. (2025). Блочный гравийный фильтр №37725 Заявка (21) 2024/0848.1 ((22) 14.10.2024 (45). опуб. от 30.12.2025, бюл. №53 [Patent RK. Umirova G.K., Ratov B.T., Sudakov A.K., Sudakova D.A., Kuttybaev A.E., Togasheva A.R., Sarbopeyeva M.D., Zhanqirhanova A.A. (2025). Blochnyy graviynnyy filtr №37725. Zayavka (21) 2024/0848.1, (22) 14.10.2024, opubl. 30.12.2025, Byl. №53]

20. Сарбопеева М.Д., Матаева З.Т., Элиакбар М.М., Муратова С.К., Куттыбаев А.Е., Жайлиев А.О., Ратов Б.Т., & Аршидинова М.Т. (2025). Оптимизация плотности бурового раствора для снижения повреждения и загрязнения продуктивных пластов. Журнал Нефть и Газ, 2025 4(148). С.49-62. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-4.03> [Sarbopeyeva M.D., Mataeva Z.T., Aliakbar M.M., Muratova S.K., Kuttybaev A.E., Zhayliyev A.O., Ratov B.T., Arshidinova M.T. (2025). Optimizatsiya plotnosti burovoh rastvora dlya snizheniya povrezhdeniya i zagryazneniya produktivnykh plastov. Zhurnal Neft i Gaz, 2025 4(148), S.49–62. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-4.03>]
21. Жайлиев А.О., Муратова С.К., Омирзакова Э.Ж., Табылганов М.Т., Гусманова А.Г., Куттыбаев А.Е., & Ратова С.Б. (2025). Оптимизация процессов бурения и освоения скважин с использованием системы датчиков плотности и вязкости. Журнал Нефть и Газ, 2025 3(147). С.102-114. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.05> [Zhayliyev A.O., Muratova S.K., Omirzakova E.Zh., Tabylganov M.T., Gusmanova A.G., Kuttybaev A.E., Ratova S.B. (2025). Optimizatsiya protsessov bureniya i osvoeniya skvazhin s ispol'zovaniem sistemy datchikov plotnosti i vyazkosti. Zhurnal Neft i Gaz, 2025 3(147), S.102–114. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.05>]
22. Сейдалиев А.А., Калжанова А.Б., Гусманова А.Г., Ратов Б.Т., Куттыбаев А.Е., Сарбопеева М.Д., & Утепов З.Г. (2025). Оптимизация эксплуатационных свойств бурового инструмента с алмазосодержащими элементами. Журнал Нефть и Газ, 2025 2(146). С.42-52. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-2.03> [Seidaliev A.A., Kalzhanova A.B., Gusmanova A.G., Ratov B.T., Kuttybaev A.E., Sarbopeyeva M.D., Uteпов Z.G. (2025). Optimizatsiya ekspluatatsionnykh svoystv burovoh instrumenta salmazosoderzhashchimi elementami. Zhurnal Neft i Gaz, 2025 2(146), S.42–52. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-2.03>]
23. Жайлиев А.О., Сейдалиев А.А., Куттыбаев А.Е., Гусманова А.Г., Ратов Б.Т., & Табылганов М.Т. (2025). Подбор буровых растворов и регулирование их плотности. Журнал Нефть и Газ, 2025 1(145). С.115-128. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-1.06> [Zhayliyev A.O., Seidaliev A.A., Kuttybaev A.E., Gusmanova A.G., Ratov B.T., Tabylganov M.T. (2025). Podbor burovyyh rastvorov i regulirovanie ikh plotnosti. Zhurnal Neft i Gaz, 2025 1(145), S.115–128. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-1.06>]
24. Ратов Б.Т., Куттыбаев А.Е., Муратова С.К., Сарбопеева М. Д., Калжанова А. Б., Жангирханова А. А. (2024). Подготовка смесей CrB2 и формирование брикетов для композитов буровых долот. Журнал Нефть и Газ, 2024 3(141). С.35-44. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.02> [Ratov B.T., Kuttybaev A.E., Muratova S.K., Sarbopeyeva M.D., Kalzhanova A.B., Zhanqirhanova A.A. (2024). Podgotovka smesei CrB2 i formirovanie briketov dlya kompozitov burovyyh dolot. Zhurnal Neft i Gaz, 2024 3(141), S.35–44. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.02>]