

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.25.43.001

УДК 622.817.47

© Е. Э. Поздеев, Н. В. Ледяев, А. А. Черухин, И. А. Комиссаров,  
Е. А. Уткаев, С. В. Соколов, 2025

**Е. Э. ПОЗДЕЕВ**

Руководитель направления  
Департамент по цифровизации и  
автоматизации угольного дивизиона  
ООО «ЦТиП»  
e-mail: Pozdeev@сuek.ru

**Н. В. ЛЕДЯЕВ**

Начальник управления противоаварийной устойчивости предприятий  
АО «СУЭК-Кузбасс»  
e-mail: LedyayevNV@сuek.ru

**А. А. ЧЕРУХИН**

Заместитель главного инженера по вентиляции  
ш. им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс»

**И. А. КОМИССАРОВ**

Начальник отдела ВГК и контроля динамических явлений  
АО «СУЭК-Кузбасс»  
e-mail: komissarovIA@сuek.ru

**Е. А. УТКАЕВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: utkaev@mail.ru

**С. В. СОКОЛОВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: sokoloviu.s@yandex.ru

## ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖИН ГИДРОРАЗРЫВА

*В статье рассматриваются исследования угольных пластов через скважины для гидравлического разрыва пласта (ГРП). Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации процессов изучения угольных пластов и повышения эффективности дегазации. Разведочное бурение характеризуется существенными временными и финансовыми затратами, поэтому их сокращение путем снижения количества дополнительных геологоразведочных скважин особенно важно в условиях ограниченных ресурсов. Для этого разработан оригинальный подход к процессу пластоиспытаний, основанный на использовании скважин гидроразрыва, ранее пробуренных с поверхности. В ходе апробации подхода проведены испытания на шахтах, входящих в зону ответственности АО «СУЭК-Кузбасс», где были получены данные*

*о гидродинамических показателях угольного пласта, включая гидропроводность, коэффициент проницаемости, коэффициент фильтрации и скин-фактор.*

Ключевые слова: ПРОНИЦАЕМОСТЬ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, СКВАЖИНА ГРП, ПЛАСТОИСПЫТАНИЯ, ДАВЛЕНИЕ ЗАБОЙНОЕ, ДАВЛЕНИЕ ПЛАСТОВОЕ, ДЕГАЗАЦИЯ.

Гидродинамические исследования являются важным инструментом для оценки состояния угольных пластов и их эксплуатационных характеристик. Наиболее распространенными методами являются: испытание пластов на трубах, слаг-тест, инъекционный тест и танк-тест.

Испытание пластов на трубах основано на создании депрессии в пласте с использованием трубных испытателей и контроле восстановления давления. Данный метод обеспечивает возможность оперативно получить данные о состоянии пласта и его водо- и газопроницаемости. Слаг-тест заключается в доливе воды в скважину и регистрации восстановления давления до гидростатического уровня и позволяет оценить водопроницаемость угольных пластов, что является важным показателем для дальнейших исследований. Инъекционный тест предполагает подачу воды в пласт с избыточным давлением и регистрацию изменения давления в процессе нагнетания и ожидания его спада. Этот метод используется в условиях водонасыщенных пластов и позволяет получить данные о их проницаемости и состоянии. Танк-тест предусматривает безнапорную подачу воды в исследуемый пласт из размещенного на дневной поверхности резервуара и регистрацию восстановления давления после ее прекращения. Данный метод позволяет определить проницаемость, емкостной коэффициент и скин-фактор.

Выбор конкретного метода испытаний зависит от целей исследования, комплекса действующих горно-геологических условий, доступных ресурсов, а также совокупности преимуществ и ограничений, характерных для каждого из них. Так, испытание пластов на трубах может быть более эффективным в условиях низкой проницаемости, тогда как инъекционный тест может дать более полное представление о динамике водообмена в высокопроницаемых пластах [1–3].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью оптимизации процессов изучения угольных пластов и повышения эффективности методов дегазации. Традиционные подходы, требующие бурения дополнительных скважин, значительно увеличивают финансовые и временные затраты на проведение исследований. В данной работе предлагается инновационный подход, позволяющий использовать существующие скважины для получения необходимых данных, что может существенно снизить затраты и ускорить процесс исследования.

Исследования выполнены с целью апробации представленного подхода к выполнению пластоиспытаний. Особенностью данного подхода является проведение измерений через ранее пробуренные с дневной поверхности скважины ГРП, что позволяет исключить бурение дополнительных скважин непосредственно для определения гидродинамических параметров угольного пласта.

Процесс исследования включал оценку следующих основных показателей: коэффициентов фильтрации и проницаемости, скин-фактора, гидропроводности, а также изменений кривых притока и восстановления пластового давления. В качестве измерительного оборудования применялся комплект испытательных инструментов КИИ-65, состоящий из пакера, системы клапанов и глубинного регистрирующего манометра [4–6].

Исследования выполнены в пределах горного отвода угледобывающего предприятия «Шахта им. С. М. Кирова», АО «СУЭК-Кузбасс». Для проведения пластоиспытаний используемые скважины до глубины, соответствующей горизонту, вмещающему ранее отработанные пласты, изолировались. При этом пласты, залегающие ниже данного горизонта, не обрабатывались. Основные параметры выполненного исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технологические параметры выполненного пластоиспытания

Характеристика	Значение
Исследуемый объект	угольный пласт Болдыревский
Исследуемый интервал	570,00-577,00 м
Интервал залегания угольного пласта	573,50-575,00 м
Мощность исследуемого пласта	2,00 м
Диаметр скважины	146,00 мм
Внутренний диаметр буровой колонны	96,00 мм
Уровень воды в затрубном пространстве	148,00 м
Удельный вес рабочей жидкости	1,01 г/см <sup>3</sup>
Вязкость воды	1,67 сПз. (25 сек)
Вес колонны бурильных труб	13,50 т
Температура объекта на забое	21,00 °С

Установка и спуск испытателей пластов в скважину осуществлялась на бурильных трубах с закрытым приемным клапаном (за счет чего буровой раствор скважины не поступал в трубы) после полного или частичного вскрытия пласта. Для изоляции исследуемого пласта использовался пакер, который устанавливался над пластом и приводился в действие за счет сжимающихся усилий, передаваемых весом колонны бурильных труб. Эта нагрузка деформировала резиновый уплотнитель пакера увеличиваясь в диаметре и изолировала исследуемую часть скважины. Место установки пакера регулировалось путем изменения длины хвостовика, состоящего из опорного башмака, трубы и фильтра.

Непосредственно процесс пластоиспытаний включал две основные фазы: открытый период (ОП) и закрытый период (ЗП). В рамках ОП на изолированном пакером интервале скважины создавалась депрессия, вызывающая свободную циркуляцию в буровой колонне флюида (воды или газа), ранее содержащегося в пласте или вмещающих породах. Для этого открывался приемный клапан испытателя пластов, соединяя подпакерное пространство с полостью бурильных труб, частично заполненных жидкостью. В результате чего, давление под пакером резко уменьшалось до гидростатического давления столба жидкости в колонне труб, и пластовый флюид поступал в бурильные трубы. По окончании притока приемный клапан испытателя

закрывался, при этом герметичность пакеровки сохранялась.

После этого начиналась вторая фаза пластоиспытаний — закрытый период. В ходе ЗП, комплекс сложившихся после перекрытия клапана условий в изолированном интервале скважины, обеспечивал восстановление исходных параметров пластового давления. По окончании периода восстановления давления бурильные трубы приподнимались, приемный клапан закрывался и открывался уравнительный клапан, а пакер возвращался в исходное состояние. Давление в исследуемой зоне и скважине выравнивалось, после чего комплект испытателя пластов и регистрирующее оборудование извлекались.

В ходе протекания обеих фаз пластоиспытания осуществлялась постоянная регистрация давления и температуры флюида глубинным манометром, что позволило впоследствии оценить коллекторские свойства пласта (скин-фактор, коэффициент проницаемости, коэффициент фильтрации). Для определения отмеченных характеристик анализировались кривые изменения давления и температуры жидкости в течение времени, формирование и отображение которых осуществлялось с использованием программного инструмента БД СИАМ v2.5.10.66 (рис. 1).

Расчет фильтрационных характеристик угольного пласта Болдыревский проведен по методу Хорнера [7, 8]. Основные

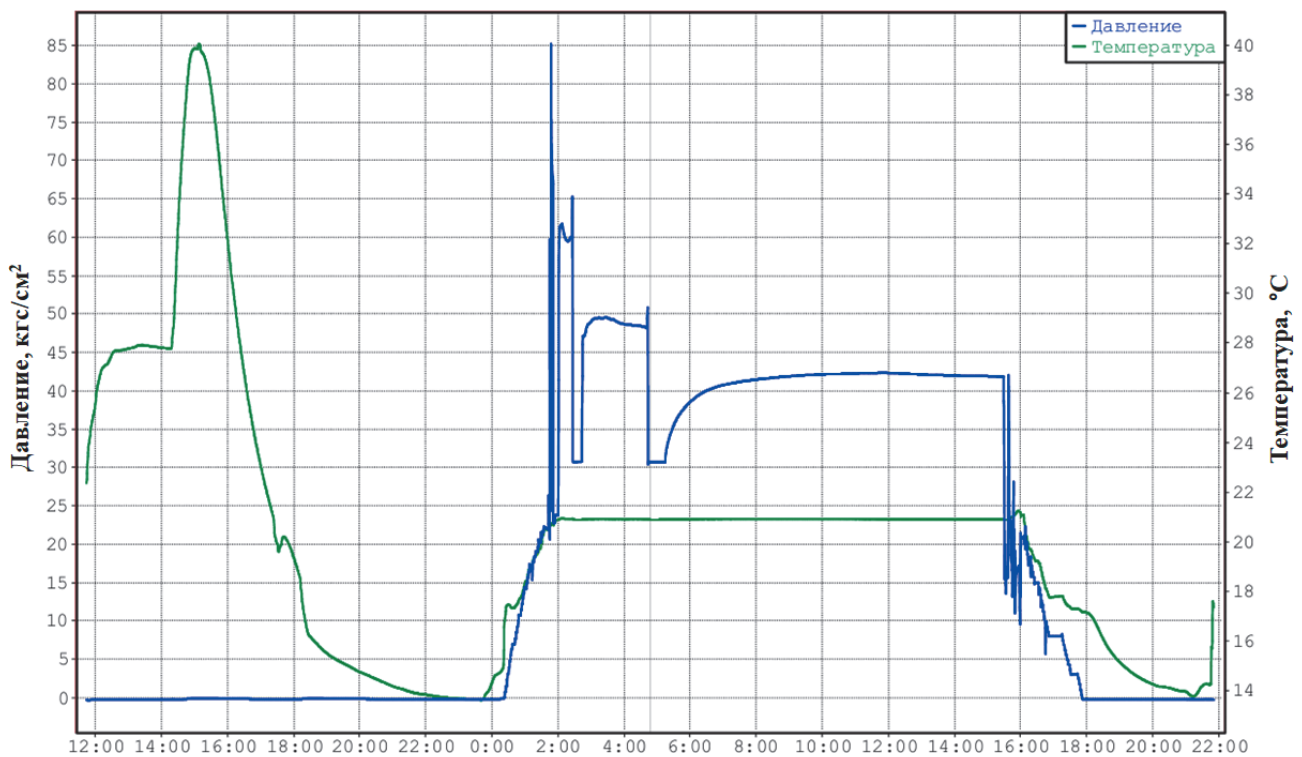


Рис. 1. Графики изменения давления и температуры, регистрируемых в процессе выполнения пластоиспытаний.

зарегистрированные и рассчитанные параметры представлены в Таблице 2.

По результатам выполненных исследований коэффициент фильтрации определен как  $7,4 \cdot 10^{-4}$  м/сут, коэффициент проницаемости как 0,09 мД, Значение гидропроводности составило  $3,0 \text{ м}^3/(\text{МПа} \cdot \text{с})$ , а скин-фактор — 1,68. Нарушений технологического процесса и внештатных ситуаций в ходе выполнения измерений не отмечено. На основе анализа особенностей изменения кривых притока и восстановления пластового давления и значений фильтрационных характеристик,

определенных с использованием метода Хорнера, установлено, что исследованный пласт Болдыревский газоносный, слабопроницаемый.

После этого в пределах горных отводов угледобывающих предприятий, входящих в зону ответственности АО «СУЭК-Кузбасс», были проведены дополнительные испытания, направленные на определение гидродинамических показателей угольных пластов с использованием скважин гидроразрыва, ранее пробуренных с поверхности. По результатам данных измерений также определены

Таблица 2

Результаты проведенного пластоиспытания

Определяемый параметр	Единица измерения	Значение
Давление:		
– забойное;	МПа	4,24
– пластовое;		4,80
– расчетное.		4,80
Коэффициент фильтрации	м/сут.	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент проницаемости	мД.	0,09
Гидропроводность	$\text{м}^3/(\text{МПа} \cdot \text{с})$	3,0
Скин-фактор		1,68

фильтрационные параметры оцениваемых угольных пластов и дана их характеристика. В рамках апробации предложенного подхода к пластоиспытаниям представленные исследования проведены в достаточном количестве для оценки его эффективности.

Основным результатом выполненных исследований является подтверждение принципиальной возможности использования скважин гидроразрыва, пробуренных с поверхности для выполнения пластоиспытаний с целью определения фильтрационных характеристик обрабатываемых угольных пластов. Это позволяет осуществить регистрацию и расчет гидродинамических параметров без затрат на бурение дополнительных разведочных скважин. Таким образом, проведенная апробация представленного подхода

к процессу пластоиспытаний показала рациональность его применения для определения фильтрационных характеристик угольных пластов на горных отводах действующих угледобывающих предприятий.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0013 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений. 2024–2025 гг.» (рег. № 124041100071–9).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшин П. С. Испытание пластов в процессе бурения. М.: Недра, 1974. 200 с.
2. Артемьев В. Б., Костеренко В. Н., Садов А. П., Тайлаков О. В., Застрелов Д. Н., Уткаев Е. А. Извлечение и переработка угольного метана. Сер. Библиотека горного инженера. Том 9, Книга 4. Рудничная аэрология. М.: «Горное дело», ООО «Киммерийский центр». 2016. 208 с.
3. Tailakov O.V., Kormin A.N., Zastrelov D.N., Utkaeв E.A., Sokolov S.V. Justification of a Method for Determination of Gas Content in Coal Seams to Assess Degassification Efficiency// The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety. 2016. P. 324–329.
4. Сухонос Г. Д. Испытание необсаженных скважин. М.: Недра, 1978. 279 с.
5. Бузинов С. Н. Определение пластового давления по кривым восстановления давления в остановленных скважинах. Сб. «Комплексный контроль за разработкой газовых месторождений». М.: ВНИИГАЗ. 1976. С. 63–146.
6. Метод исследований газо-гидродинамических характеристик угольных пластов с помощью пластоиспытателя КИИ. Текст: электронный // АО «Метан Кузбасса»: [сайт]. URL: <https://metankuzbassa.ru/pages/12.html> (дата обращения: 20.01.2024).
7. Agarwal R. G., Al-Hussainy, Ramey H. J. An Investigation of Wellbore Storage and Skin Effect in Unsteady Liquid Flow: I Analytical Treatment.
8. Horner D. R. Pressure build-up in wells. Proc. Third World Petroleum Congress. The Hague, 1951.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.25.43.001

UDC 622.817.47

© Е. Е. Pozdeev, N. V. Ledyeva, A. A. Cherukhin,  
I. A. Komissarov, E. A. Utkaeв, S. V. Sokolov, 2025

**E. E. POZDEEV**

Heads of the Direction  
Department of Digitalization and Informatization  
Coal Automation Division  
CtIP LLC  
e-mail: Pozdeev@suek.ru

**N. V. LEDYAEVA**

Head of the Emergency Management Department of the Enterprise  
JSC «SUEK-Kuzbass»  
e-mail: LedyaevNV@suek.ru

**A. A. CHERUKHINO**

Deputy Chief Engineer for Ventilation  
of the I.M. Kirov Mine, JSC «SUEK-Kuzbass»

**I. A. KOMISSAROV**

Head of the Department of VGK OS Control of Dynamic Phenomena  
JSC «SUEK-Kuzbass»  
e-mail: komissarovIA@suek.ru

**E. A. UTKAEV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Kemerovo  
e-mail: utkaev@mail.ru

**S. V. SOKOLOV,**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Kemerovo  
e-mail: sokoloviu.s@yandex.ru

**ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF FILTRATION LAYERS OF COAL WELLS  
USING HYDRAULIC FRACTURING.**

*The article discusses the research of coal seams through wells for hydraulic fracturing (FRACKING). The relevance of the study is due to the need to optimize the processes of studying coal seams and increase the efficiency of degassing. Exploration drilling is characterized by significant time and financial costs, therefore, reducing them by reducing the number of additional exploration wells is especially important in conditions of limited resources. For this purpose, an original approach to the process of reservoir testing has been developed, based on the use of hydraulic fracturing wells previously drilled from the surface. During the approbation of the approach, tests were carried out at mines within the area of responsibility of JSC*

*SUEK-Kuzbass, where data were obtained on the hydrodynamic parameters of the coal seam, including hydroconductivity, permeability coefficient, filtration coefficient and skin factor.*

Keywords: PERMEABILITY, COAL SEAM, HYDRAULIC FRACTURING WELL, RESERVOIR TESTING, BOTTOM-HOLE PRESSURE, RESERVOIR PRESSURE, WATER SUPPLY.

## REFERENCES

1. Lapshin P. S. Testing of formations in the drilling process. Moscow: Nedra, 1974. 200 p. [In Russ.].
2. Artemyev V. B., Kosterenko V. N., Sadov A. P., Tailakov O. V., Strellov D. N., Utkhev E. A. Extraction and processing of coal methane. Ser. Mining Engineer's Library. Volume 9, Book 4. Mining aerology. Moscow: «Mining», LLC «Cimmerian Center». 2016. 208 p. [In Russ.].
3. Tailakov O.V., Kormin A.N., Zastrelov D.N., Utkhev E.A., Sokolov S.V. Justification of a Method for Determination of Gas Content in Coal Seams to Assess Degasification Efficiency// The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety. 2016. P. 324–329.
4. Sukhonosov G. D. Testing of unplanted wells. Moscow: Nedra, 1978. 279 p. [In Russ.].
5. Buzinov S. N. Determination of reservoir pressure from pressure recovery curves in stopped wells. Collection. «Integrated control over the development of gas fields». Moscow: VNIIGAZ. 1976. P. 63–146. [In Russ.].
6. A method for studying the gas-hydrodynamic characteristics of coal seams using a CII reservoir tester. Text: electronic // JSC «Methane of Kuzbass»: [website]. URL: <https://metankuzbassa.ru/pages/12.html> (date of request: 20.01.2024). [In Russ.].
7. Agarwal R. G., Al-Hussainy, Ramey H. J. An Investigation of Wellbore Storage and Skin Effect in Unsteady Liquid Flow: I Analytical Treatment.
8. Horner D. R. Pressure build-up in wells. Proc. Third World Petroleum Congress. The Hague, 1951.