



УДК 530.17:628.112.2

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ АНАЛОГИЙ ПРОЦЕССА ДЕКОЛЬМАТАЦИИ ОКОЛОСКВАЖИННЫХ СРЕД ИМПУЛЬСНО-ВОЛНОВЫМ ПОЛЕМ

### MATHEMATICAL MODELING BY THE METHOD OF ANALOGY OF THE PROCESS OF THE DECOLMATION OF THE EARTHQUAKE MEDIA WITH A PULSE WAVE FIELD

**Цымбалов Александр Алексеевич**

кандидат технических наук,  
генеральный директор,  
ООО Группа компаний «Архимед»  
arhimed64@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотренный метод аналогий позволяет получить новое знание о явлении кольтматации, уяснить физические законы природного процесса, протекающего в водонасыщенных грунтах, определить конструктивно-технологические параметры нового оборудования по декольтматации закольтмированных скважин.

**Ключевые слова:** метод ВИГДОС-СИЦА, кольтматация, декольтматация, околоскважинная среда, математическое моделирование, грунты, технологии изделий двойного назначения.

**Tsymbalov Alexander Alekseevich**  
PhD,  
General Director,  
LLC Group of companies «Archimedes»  
arhimed64@mail.ru

**Annotation.** The method of analogies allows us to obtain new knowledge about the phenomenon of colmatation, to understand the physical laws of the natural process taking place in water saturated soils, to determine the design and technological parameters of the new equipment for decolmatization of colmat wells.

**Keywords:** VIGDOS-SITSA method, colmatation, decolmatation, near-wellbore environment, mathematical modeling, soils, technologies of dual-purpose products.

Развитие современной науки невозможно представить без применения математического моделирования. Суть методологии математического моделирования состоит в представлении природного явления в виде абстрактного «образа» описанного математической моделью с возможностью его логической алгоритмизацией и дополнительного изучения. Такой подход к познанию, конструированию и проектированию нового знания имеет теоретические и экспериментальные преимущества. В этом случае работа ведется с моделью, а не с объектом-оригиналом (явлением, процессом), что позволяет без больших затрат исследовать его свойства и поведение в разноплановых мыслимых ситуациях.

Современный этап развития математического моделирования связан с его «встраиваемостью» своей структурой в пятую волну Кондратьева развития цивилизации (период информационно-компьютерной революции) с созданием так называемого информационного общества.

Методология математического моделирования позволяет:

1. Перерабатывать информационное «сырье» в готовый «продукт» научного знания.
2. Считать научное знание интеллектуальным ядром развития и совершенствования инновационных технологий информационного общества.

Методология математического моделирования активно развивается и проникает практически во все отрасли экономики России, охватывая сложные системы управления и анализа инновационных разработок в технических науках. К таким разработкам можно отнести инновационные технологии ВИГДОС-СИЦА системы декольтматации скважин МРС-СИЦА [1, 2].

Проблема поиска экологических и низкоэнергетических методов декольтматации околоскважинных сред связана с образованием кольтматационных процессов в порах водонасыщенной грунтовой среды, что нарушает поступление флюида из пласта к скважине. Применение технологии изделий двойного применения (гражданского и военного) по декольтматации ВИГДОС-СИЦА разработанной автором позволяет получить экономический эффект по РФ в размере около 2,0 млрд рублей в год [3].

В работах [4, 5], рассматривая развитие методов познания технических наук по декольтматации водозаборных скважин, указано, что «для установления логических «мостиков» между эмпирическим и теоретическим уровнями применяются общелогические методы анализа и синтеза, индукции и дедукции, аналогии и моделирования».

В настоящей работе моделирование рассматривается нами в общетеоретическом смысле как метод опосредованного познания, где изучаемый объект (оригинал) имеет определенное соответствие с другим объектом (моделью) и на отдельных стадиях изучения познавательного процесса может



заменять оригинал. Теория познания, отражая понятие отображения или замены, предусматривает моделирование в двух видах.

В первом варианте моделирование рассматривается как познавательный процесс, в котором из внешнего мира о происходящем явлении поступает информация. Информация перерабатывается, а сформированные образы физических процессов накладываются на соответствующие объекты модели. Количество полученных образов позволяет выявить свойства изучаемого объекта и их взаимодействие.

Второй вариант рассматривает моделирование в виде создания системы из оригинала (система № 1) и модели (система № 2) имеющие определенные сходства. Данные две материализованные системы рассматриваются как отображение друг друга с установлением соотношений подобия. Это позволяет выявить между системами зависимости отражаемые в соотношениях подобия, а не в результате изучения поступающей информации.

Воспользуемся анализом информации выполненной автором в работах [6, 7]. Поэтому под системой № 1 (оригинал) будем понимать усредненную водозаборную скважину из выборки сейсмического воздействия, где от импульсов волнового поля произошли изменения в околоскважинных зонах с определенными допустимыми (отрицательными или положительными) результатами. Сочетание воздействий из эпицентра землетрясений в виде слабых и сильных афтершоков с последующей афтершоковой эмиссией порождали импульсные микроколебания среды с нарушением ее сплошности, с последующим ее деформированием и разрывом [7].

Под системой № 2 (модель) будем подразумевать инновационное инженерное оборудование ВИГДОС-СИЦА, способное искусственно создать волновое воздействие в закольматированной околоскважинной зоне способное дать определенную допускаемую (отрицательную или положительную) результативность [3].

Математическую аналогию явления кольматации околоскважинных сред и процесса декольматации искусственно созданным импульсно-волновым полем в нашем случае будем понимать как общий случай подобия физического моделирования, но без уточнения характера зависимости между оригиналом и моделью. В математическом моделировании аналогия основана только на качественном сходстве волновых, электрических, механических, гидродинамических явлениях. Поэтому примем за аналогичные те объекты и процессы, условия воспроизводства которых описываются аналогичными математическими уравнениями. «Уравнения аналогичны, если они содержат разные физические величины, но все операторы (знаки алгебраического действия, символы функций, дифференцирования и интегрирования и т.д.) в них совпадают и следуют в одном и том же порядке. Аналогами называют величины, которые в аналогичных уравнениях стоят на одинаковых местах» [8].

В виду того, что математическое моделирование опирается на аналогичность уравнений, где превалирует численное значение, а не физическая величина, поэтому и осуществляется одинаковое распределение численных значений в пространстве и времени. Таким образом, наличие математической аналогии между оригиналом и моделью позволяет построить математическую модель.

Метод аналогий применяется в физическом и математическом моделировании при схожести явлений, процессов, ситуаций, предметов с целью получения нового знания. В практической деятельности необходимо, чтобы результаты опытных данных модели были количественно приложены к оригиналу. В идеале лучше, чтобы модель была проще оригинала. В этом случае можно экспериментировать различные процессы. Явления природы редко имеют линейную зависимость. Упрощение процесса на модели позволяет добиться установления зависимости параметров в форме закона, что трудно выполнимо на оригинале. Физическая идентичность модели и оригинала при физическом моделировании отражается введенным понятием «масштаба». Причем, параметры масштаба выбираются не произвольно, а критериями подобия.

Математическое моделирование представляет способ исследования процессов имеющих различное физическое содержание с одинаковым описанием математических соотношений, что отличает его от физического моделирования. В исследованиях технических наук применяются аналогии между механическими, электрическими, гидравлическими, тепловыми явлениями. Это позволяет устанавливать закономерности в происходящих природных процессах.

При математическом моделировании физической сущности модели и оригинала может и не быть. Количественный перенос данных с оригинала на модель и обратно возможен при достоверных данных. Здесь безразлично как устроен оригинал или модель. Это следует из того, что «общность физической сущности процесса всегда обеспечивает общность количественных закономерностей в оригинале модели» [8]. Это связано с тем, что многие физические природные явления описываются идентичными математическими уравнениями. Следовательно, количественные закономерности при отсутствии физической сущности природных явлений (процессов) могут совпадать. Поэтому можно говорить о изучении гидродинамических процессов с помощью исследования электрического поля только на основании того, что оба явления описываются дифференциальным уравнением Лапласа в частных производных. Решение задач обычными методами применимо только для частных случаев.



Проведение экспериментальных исследований электрического поля намного проще соответствующих исследований в гидродинамике [9]. Расчет кольцевых водопроводных сетей осуществляется на основе законов Кирхгофа применяемых в электрических цепях (электродинамическая аналогия). Закон Кирхгофа применим в электронных схемах, т.к. в общем случае их можно рассматривать как электрические цепи с сосредоточенными параметрами, состояние которых полностью описывается векторами токов и напряжения, а следовательно характеризуют энергию [10]. Такой подход позволяет интерпретировать конкретную электронную схему как физическую систему [11]. В работе [12] отмечаются определенные подходы при построении математических моделей (уравнение Лагранжа, принцип Гамильтона) механических систем, когда для анализа моделей явлений природы используется связь уравнений движения, законов сохранения, вариационных принципов и свойств симметрии. Применимость уравнения Лагранжа и принципа Гамильтона возможна на основе электромеханической аналогии как для описания различных типов движения маятника и малых колебаний струны, так и для колебаний электрического тока в контуре. Принцип Гамильтона имеет распространение не только на процессы движения сплошных сред, но и на некоторые не механические объекты.

Моделирование гидродинамических процессов (конвективно-диффузионный перенос вещества) в пространстве и во времени и физико-химических превращений вещества в водонасыщенных грунтах решаются электроконвективно-диффузионной аналогией (ЭКДА) и электрогидродинамической аналогией (ЭГДА) [13]. В работе [14] отмечено: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений».

Уровень развития современной физики доказывает единство материи и то, что различные виды движения материи подчиняются одинаковым математическим уравнениям. Так, к примеру, колебания маятника и колебания электрического контура, распространение упругих волн и распространение электромагнитных волн имеют общую закономерность в силу материального единства явлений. Это позволяет обобщить процесс познания и опираться на уже созданное единое учение о колебаниях и волнах с общим математическим аппаратом, лежащим в основе этого учения.

Все перечисленные аналогии связанные с техническими науками имеют прямое отношение к формированию математического моделирования природного явления такого как кольматация околоскважинных сред и процесса декольматации водонасыщенной среды искусственно созданным волновым полем разными методами, т.к. могут применяться по целевому назначению – получения знания по декольматации сред.

Достоверность аналогии увеличивается при сравнении объектов одной природы. Сделанное умозаключение по аналогии всегда носит вероятностный характер, поэтому доказательная сила их не большая. Степень роста доказательства определяется отношением изоморфизма (равный) или гомоморфизма (общий) между сравниваемыми объектами-системами.

Изучение процесса декольматации скважин связано с построением математического описания. В простейшем случае математическая модель позволяет на основе процесса оригинальной модели подобрать на основании известных аналогий удобные физические процессы-модели, установить соотношения подобия, связывающие их параметры с созданием специального оборудования и моделирующего алгоритма для изучения процесса.

Основным назначением математической модели является получение новой информации об исследуемом явлении (кольматации), процессе (декольматации) или аппарате (волновом активизаторе ВИГДОС-СИЦА), что в конечном итоге формирует новое знание.

## Выводы

1. Математическое моделирование наряду с физическим моделированием следует рассматривать как универсальный инструмент научного познания природных явлений в технических науках.
2. Наличие математической аналогии позволяет построить модель идентичную оригиналу, несмотря на то, что физическая сущность явлений модели и оригинала не совпадают.
3. Обоснование метода аналогий применимо для составления математической модели в декольматации водонасыщенных околоскважинных сред на основе волновых полей, где оригинал-процессом выступают сейсмические импульсы, а моделью процесса является импульсы электромагнитных колебаний в стволе скважины искусственно созданные инновационным инженерным оборудованием ВИГДОС-СИЦА.

*Работа выполнена в рамках Программы НИР ГК «Архимед» Арх. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. а–е; разд. 1, разд. 2» [15].*



## Литература:

1. Цымбалов А.А. Инженерное оборудование для аварийно-восстановительных работ водопропускных устройств в чрезвычайных ситуациях при наводнениях и катастрофических затоплениях // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире : сб. науч. тр. РАН, ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по материалам 9-ой межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2015» в 2-х томах. – М. : РУДН, 2015. – Т. 2. – С. 420–425.
2. Цымбалов А.А. Методические подходы в решении прогностических задач по декольматации околоскважинных зон на основе математического моделирования // Приложение математики в экономических и технических исследованиях : сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. – Т. 1. – № 7. – С. 204–210.
3. Цымбалов А.А. Межремонтный период регенерации водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 10. – С. 20–25.
4. Цымбалов А.А. Методические подходы к консолидации теории декольматации околоскважинных сред в техническое знание // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-та в 2-х томах. – Саратов : СГТУ, 2018. – Т. 2. – № 9. – С. 9–14.
5. Цымбалов А.А. Формирование научно-технического знания по проблеме декольматации околоскважинной среды водонасыщенных грунтов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-та. – Саратов : СГТУ, 2017. – № 1(8). – С. 416–420.
6. Цымбалов А.А. Роль сейсмогидрогеологических эффектов в решении проблем декольматации околоскважинных зон: предразрушение и разрушение // Актуальные проблемы современной сейсмологии : сб. науч. тр. Академии наук РУз, Ин-т сейсм; АН РУз. – Ташкент : Mukridin Press, 2016. – Ч. 1. – С. 117–118.
7. Tsymbalov A.A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction // Seismological Conference (TASECO-2016). – Tashkent : Muxammad poligraf, 2016. – Part 1. – P. 599–606.
8. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.
9. Власов К.П. Методы исследований и организация экспериментов / К.П. Власов, П.К. Власов, А.А. Киселева [и др.]. – Харьков : Изд-во Гуманитарный центр, 2013. – 412 с.
10. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. – М. : Радио и связь, 1984. – 248 с.
11. Директор С., Рорер Р. Введение в теорию систем. – М. : Мир, 1974. – 464 с.
12. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.
13. Дружинин Н.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши / Н.И. Дружинин, А.И., Шишкин. – Л. : Гидрометеоздат, 1989. – 390 с.
14. Веников В.А. Теория подобия и моделирование (применительно к задачам электроэнергетики) / В.А. Веников, Г.В. Веников. – М. : Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2014. – 440 с.
15. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» / А.А. Цымбалов. – М., 2014–2019. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnyye-nir> (дата обращения 20.03.2019).

## References:

1. Tsymbalov A.A. Engineering equipment for emergency and recovery works of culverts in emergency situations in floods and catastrophic floods // Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world : collection of scientific works RAN, IEG RAN, VNIIG GOCHS (FC) according to the materials of the 9th int. science. – prakt. conf. «Georisk-2015» in 2 volume, – М. : RUDN, 2015. – Vol. 2. – P. 420–425.
2. Tsymbalov A.A. Methodical approaches to the solution of the prognostic tasks of declimatize borehole zones on the basis of mathematical modeling // Application of mathematics in technical and economic studies : collection of scientific works Magnitogorsk. state tech. un-ta. – Magnitogorsk : Publishing house Magnitogorsk. state tech. un-ta, 2017. – Vol. 1. – № 7. – P. 204–210.
3. Tsymbalov A.A. Overhaul period of water well rehabilitation // Water supply and sanitary engineering. – 2017. – № 10. – P. 20–25.
4. Tsymbalov A.A. Methodological approaches to the consolidation of the theory of declimatize borehole environments technical knowledge // Resursosberegienie technology in the construction complex of the region : collection of scientific works Sarat. state tech. un-ta in 2 volume. – Saratov : SGTU, 2018. – Vol. 2. – № 9. – P. 9–14.
5. Tsymbalov A.A. Formation of scientific and technical knowledge on the problem of declimatize the borehole environment saturated soils // Resursosberegienie technology in the construction complex of the region : collection of scientific works Sarat. state tech. un-ta. – Saratov : SGTU, 2017. – № 1 (8). – P. 416–420.
6. Tsymbalov A.A. The Role seismogeological effects in the solution of problems of declimatize borehole zones: rock microcracking and fracture // Actual problems of modern seismology : collection of scientific works Academy of Sciences of Uzbekistan, In-t seismic; Academy of Sciences of Uzbekistan. – Tashkent : Mukridin Press, 2016. – Part 1. – P. 117–118.
7. Tsymbalov A.A. Role of seismohydrogeological effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction // Seismological Conference (TASECO-2016). – Tashkent: Muxammad poligraf, 2016. – Part 1. – P. 599–606.
8. Kichigin V.I. Modeling of water purification processes. – М. : Publishing house ACV, 2003. – 230 p.
9. Vlasov K.P. Research Methods and organization of experiments / K.P. Vlasov, P.K. Vlasov, A.A. Kiseleva [etc.]. – Kharkiv : Publishing house of the Humanitarian center, 2013. – 412 p.
10. Batishchev D.I. Methods of optimal designing. – М. : Radio and communication, 1984. – 248 p.
11. Director S., Rohrer R. Introduction to systems theory. – М. : Mir, 1974. – 464 p.



12. Samara A.A. Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples / A.A. Samarskii, A.P. Mikhailov. – М. : Fizmatlit, 2001. – 320 p.
13. Druzhinin N.I. Mathematical modeling and prediction of pollution of surface waters / N.I. Druzhinin, A.I. Shishkin. – L. : Gidrometeoizdat, 1989. – 390 p.
14. Venikov V.A. Similarity Theory and modeling (in relation to problems of electric power industry) / V.A. Venikov, G.V. Venikov. – М. : Book house LIBROKOM, 2014. – 440 p.
15. Priority research: Topics and innovative areas of scientific research, LLC GK «Archimedes» / A.A. Tsybalov. – М., 2014–2019. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (accessed 20.03.2019).