

**Валерий Анатольевич Лахно** – Национальный университет биоресурсов и природопользования, доктор технических наук, профессор, Г. Киев, Украина. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>.

**Лазат Муктаровна Кыдыралина\*** – Университет имени Шакарима г. Семей, PhD, г. Семей Казахстан, e-mail: [lazat\\_75@mail.ru](mailto:lazat_75@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>.

#### Information about the authors

**Bakhytzhan Bogatdinovich Akhmetov** – Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [b\\_akhmetov@ntu.kz](mailto:b_akhmetov@ntu.kz). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5622-2233>.

**Valery Anatolyevich Lakhno** – National University of Bioresources and Environmental Management, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kiev, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>.

**Lazat Muktarovna Kydyralina** – Shakarim University, PhD, Semey K. Kazakhstan, e-mail: [lazat\\_75@mail.ru](mailto:lazat_75@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-0919>.

Редакцияға енуі 01.03.2024

Өңдеуден кейін түсуі 03.03.2024

Жариялауға қабылданды 05.03.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-5

МРНТИ: 50.43.15



**А.П. Смирнов, Е.С. Риттер\*, А.А. Савостин, Д.В. Риттер, С.С. Молдахметов**

Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева,  
150000, Казахстан, Петропавловск, ул. Пушкина, 86

\*e-mail: [esritter@ku.edu.kz](mailto:esritter@ku.edu.kz)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ

**Аннотация:** В данной статье рассмотрен принцип работы потенциометрического уровнемера для измерения уровня электропроводной жидкости в резервуаре. Электропроводная жидкость измеряется уровнемером косвенным методом в заземленном резервуаре. Устройство состоит из сенсора с низким электрическим сопротивлением, генератора переменного тока, металлической стенки резервуара и усилителя слабого сигнала.

Нелинейность передаточной функции не позволяет использовать измеренные значения сенсора без предварительной линеаризации. Поэтому необходимо разработать модель сенсора в электропроводной жидкости и выявить факторы, влияющие на точность измерения уровня.

Для оценки точности измерений в статье представлена модель электрического поля внутри электролита, создаваемого сенсором потенциометрического уровнемера в резервуаре с цилиндрической стенкой. Используются численные методы, основанные на методе конечных элементов, для расчета потенциалов и токов внутри электролита. Модель конечного элемента и конечно-элементная сетка позволили рассмотреть передачу потенциалов между конечными элементами.

Показано, что погрешность измерения уровня в потенциометрическом уровнемере имеет недопустимую величину и зависит от уровня жидкости и от расположения измерителя уровня.

На основе полученной модели были определены факторы, влияющие на измеренное значение уровня жидкости, и выполнено вычисление абсолютной и относительной погрешностей измерения. Так же определены дальнейшие шаги по улучшению точности измерения уровнемера.

**Ключевые слова:** потенциометрический метод, измеритель уровня, уровнемер, численные методы моделирования, метод конечных элементов, погрешность измерения.

## Введение

В современной промышленности датчики уровня играют ключевую роль в обеспечении эффективного контроля и управления процессами, связанными с жидкостями [1]. Уровнемеры обеспечивают прецизионный мониторинг и автоматизацию различных производственных процессов. Их важность обусловлена не только повышением производительности, но и снижением рисков аварийных ситуаций, контролем качества продукции, а также экономией ресурсов, таких как вода и сырье. Поэтому важно обеспечить точность измерения уровня на производстве [2, 3].

Принцип действия потенциометрического уровнемера известен давно [4, 5], но нелинейность передаточной функции измерителя не позволяет использовать измеренное значение сенсора без линеаризации передаточной функции. Поэтому необходимо построить модель сенсора в электропроводной жидкости и определить факторы, влияющие на точность измерения измерителя.

Принцип измерения уровня потенциометрическим уровнемером

Принцип измерения уровня потенциометрическим уровнемером показан на рисунке 1.

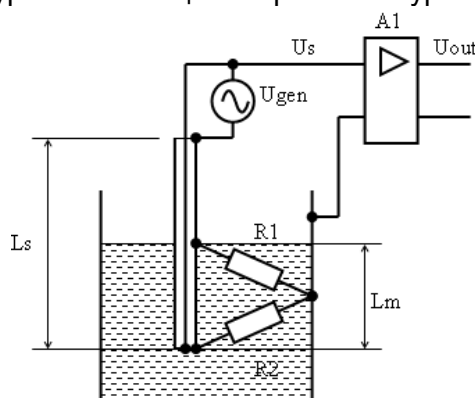


Рисунок 1 – Функциональная схема измерения уровня потенциометрическим уровнемером

Уровень электропроводной жидкости измеряется потенциометрическим уровнемером в заземленном резервуаре косвенным методом.

Уровнемер состоит из сенсора в виде трубы с низким электрическим сопротивлением, генератора переменного тока  $U_{gen}$ , металлической стенки резервуара и усилителя  $A1$  слабого сигнала  $U_s$ .

Между трубой и стенкой резервуара соединены множество сопротивлений электропроводной жидкости. Так как они соединяются с нулевым потенциалом стенки резервуара, то они преобразованы в виде двух эквивалентных сопротивлений  $R1$  и  $R2$ , соединённых со стенкой резервуара. Сопротивления  $R1$  и  $R2$  образуют делитель напряжения на части стержня, погруженного в жидкость.

Измеренное напряжение  $U_s$  в нижнем конце сенсора относительно стенки резервуара будет пропорционально уровню жидкости в резервуаре относительно нулевого потенциала стенки резервуара:

$$U_s = U_{gen} \frac{L_m}{L_s} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

где  $L_m$  – измеряемый уровень жидкости;

$L_s$  – длина сенсора уровнемера.

Сопротивления резисторов  $R1$  и  $R2$  не равны из-за разных граничных условий в верхней части сенсора и в нижней части сенсора и, вследствие этого, различаются распределением электрических токов сверху и снизу сенсора.

## Методы исследования

Метод моделирования электрического поля в электролите, созданного сенсором стержневого потенциометрического уровнемера внутри электропроводной цилиндрической стенки.

Для решения математической модели на микроуровне применяются численные методы, основанные на дискретизации независимых переменных. В результате дискретизации непрерывные области изменения значений заменяются множествами значений в узловых точках, которые рассматриваются как узлы некоторой сетки. Поэтому методы решения уравнений в частных производных называют также сеточными, наибольшее распространение из которых получили метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ) [6, 7, 8].

Будем выполнять моделирование электрического поля в электролите в статическом режиме, то есть установившемся во времени [9, 10, 11].

Для моделирования электрического поля в электролите необходимо выполнить:

- создание модели конечного элемента,
- построение конечно-элементной сетки,
- расчёт потенциала в каждой точке объёма в электролите,
- и из этого получить картину потенциалов и токов.

Моделирование электрического поля в электролите с цилиндрической стенкой проще выполнить в полярных координатах. Распространение потенциалов и токов в концентрической конструкции одинаковое в любом радиальном направлении. Поэтому достаточно рассмотреть передачи потенциалов в одной вертикальной плоскости, чтобы получить картину потенциалов и токов во всем объёме в электролите.

Создадим модель конечного элемента и выполним построение конечно-элементной сетки. Разобьём тело электролита на равные кубики в полярных координатах с размером, равным радиусу сенсора  $1R=5$  мм. Примем в модель условие, что удельная электропроводность электролита постоянная и одинаковая во всех конечных элементах электролита.

Схема передачи потенциалов между конечными элементами электролита в горизонтальном слое показана на рисунке 2. На рисунке изображен один сектор передачи потенциалов из шести. Другие секторы такие же и расположены радиально через каждые  $60^\circ$ .

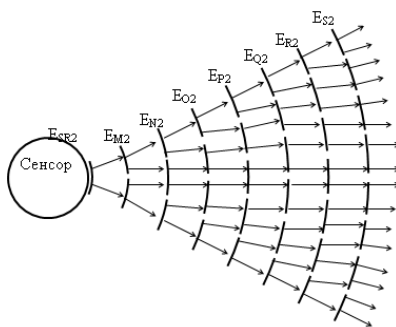


Рисунок 2 – Схема передачи потенциалов между каждым конечными элементами внутри электролита в горизонтальном слое

Каждый концентрический отрезок на рисунке 2 обозначает вертикальную грань

конечных элементов цилиндрической поверхности с площадью  $\frac{2\pi R}{6} \cdot R$ , а количество отрезков, например, на линии равного потенциала  $EN_2$ , обозначает сектор цилиндрической поверхности с площадью  $3 \cdot \frac{2\pi R}{6} \cdot R$ . Передачи потенциалов происходит через контактирующие грани соседних конечных элементов. Направление передачи потенциалов от одной вертикальной грани к следующей грани показано стрелками между поверхностями.

Передачи потенциалов в одном вертикальном слое показаны стрелками между конечными элементами на рисунке 3.

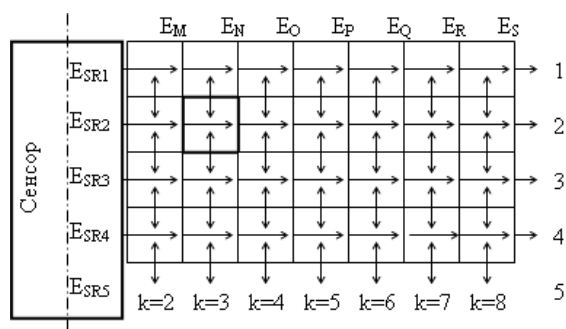


Рисунок 3 – Передачи потенциалов между конечными элементами в теле электролита в вертикальном слое

Число M, N, O означает порядковый номер концентрического слоя в электролите.

Число EM, EN означает потенциал дальней вертикальной грани конечных элементов.

Число k – количество контактирующих конечных элементов в горизонтальном слое.

Под действием электрического поля внутри электролита протекают электрические токи в направлении от большего потенциала к меньшему потенциалу перпендикулярно линиям равного потенциала. В результате протекания электрических токов внутри электролита образуется совокупность значений потенциалов электрического поля [12, 13].

Составим уравнение электрических токов в электролите по закону Кирхгофа [14], например, в конечном элементе N2, который выделен толстой линией на рисунке 3.

$$y_L(k-1)(E_{M2} - E_{N2}) + y_L k(E_{N1} - E_{N2}) + y_L k(E_{N3} - E_{N2}) + y_L(k+1)(E_{O2} - E_{N2}) = 0 \quad (1)$$

где  $y_L$  – удельная электропроводность электролита.

Решая уравнение, получим:

$$E_{N2} = \frac{\frac{k-1}{k}E_{M2} + E_{N1} + E_{N3} + \frac{k+1}{k}E_{O2}}{4} \quad (2)$$

Множители слагаемых в формуле учитывают увеличение конечных элементов в горизонтальном слое внутри электролита с увеличением радиуса от сенсора. Для остальных конечных элементов внутри электролита формула расчёта потенциала аналогична.

### Результаты исследования

Выполним численное моделирование передачи потенциала между конечными элементами внутри электролита в одном вертикальном слое расчётом в программе MatLab методом итерации вычислений потенциалов конечных элементов. При этом введем в модель краевые условия, что потенциал электропроводной цилиндрической стенки равен 0 и что ток в электропроводную цилиндрическую стенку, помещённую в поле потенциалов, равен 0. Подключим к краям сенсора источник тока такой, чтобы напряжение между конечными элементами сенсора изменялось на единицу напряжения, для наглядности.

На рисунке 4 приведено моделирование электрического потенциала внутри электролита с электропроводной цилиндрической стенкой, удалённой на расстояние  $8R$  от сенсора.

В центре таблицы помещён сенсор потенциометрического уровнемера на глубину от +20 до -20 единиц потенциала в сенсоре. Сенсор выделен в таблице серым цветом. Выше середины сенсора условно потенциал отрицательный, ниже середины сенсора условно потенциал положительный. Строка потенциалов на середине сенсора выделена зелёным цветом.

Слева, справа и ниже сенсора равномерно расположены секторы цилиндрической поверхности электролита. Шаг секторов цилиндрической поверхности электролита выбрано в единицах радиуса сенсора  $1R=5$  мм.



Таблица 2 – Зависимость абсолютной и относительной погрешностей измерения уровня от глубины сенсора в электролите

Глубина сенсора в электролите L, мм	30	45	70	100	150	225	340	500	750	1100
Абсолютная погрешность измерения уровня $\Delta m$ , мм	-3,70	-4,38	-5,14	-5,24	-5,50	-5,68	-5,82	-5,90	-5,96	-6,00
Относительная погрешность измерения уровня $\delta$ , %	12,33	9,73	7,34	5,24	3,67	2,52	1,71	1,18	0,79	0,55

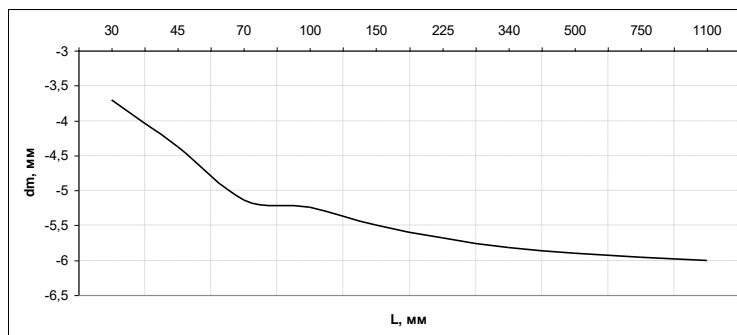


Рисунок 6 – Зависимость абсолютной погрешности измерения уровня от глубины сенсора в электролите внутри вертикальной электропроводной цилиндрической стенкой

Если помещать горизонтальную стенку на расстоянии  $4R...30R$  ниже сенсора, то распределение поля потенциалов изменится. Влияние расстояния от сенсора до горизонтальной стенки в электролите на абсолютную и относительную погрешности измерения уровня приведено в таблице 3 и рисунке 7. Вычисления проводились при погружении зонда на глубину 200 мм.

Таблица 3 – Зависимость абсолютной и относительной погрешностей измерения уровня от расстояния сенсора до горизонтальной стенки

Расстояние от сенсора до горизонтальной стенки S, мм	20	30	45	70	100	150
Абсолютная погрешность измерения уровня $\Delta m$ , мм	-38,56	-21,54	-11,02	-6,58	-5,72	-5,64
Относительная погрешность измерения уровня $\delta$ , %	19,28	10,77	5,51	3,29	2,86	2,82

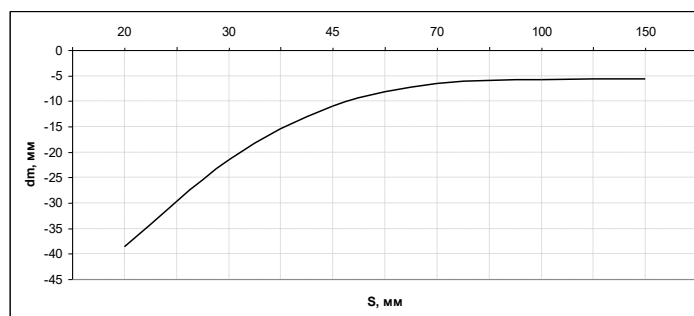


Рисунок 7 – Зависимость абсолютной погрешности измерения уровня от расстояния сенсора до горизонтальной стенки

### Обсуждение научных результатов

В результате моделирования стержневого уровнемера в электролите выявлено, что:

1. Стержневой уровнемер имеет систематическую погрешность измерения уровня 3,7–6,0 мм, представленную в рисунке 6, что соответствует относительной погрешности измерения  $\delta=0,55\text{--}12,3\%$ . Систематическая погрешность измерения уровня проявляется в изменении поля потенциалов в электролите при изменении глубины стержневого уровнемера в электролите. Измеряемый уровень электролита возможно вычислить по формуле  $L = k(U_s + \Delta_{sist} + \Delta_{rand})$ ,

где  $k$  – масштабирующий коэффициент распределения потенциала в сенсоре в зависимости от длины сенсора;

$U_s$  – измеренное напряжение в нижнем конце сенсора относительно стенки резервуара;

$\Delta_{sist}$  – систематическая погрешность измерения напряжения;

$\Delta_{rand}$  – случайная погрешность измерения напряжения.

Если ввести в вычислитель таблицу коррекции систематической погрешности, то погрешность измерения уровня уменьшится.

2. Стержневой уровнемер имеет дополнительную погрешность измерения уровня от положения уровнемера, представленную на рисунке 7. При условии, что положение уровнемера не будут регулировать, и это вероятно, то эта дополнительная погрешность измерения уровня становится случайной погрешностью измерения уровня. А эта дополнительная погрешность соответствует относительной погрешности измерения уровня  $\delta=2,8-19,3\%$ , что является не допускаемой величиной в сравнении с другими уровнемерами.

3. Уменьшить дополнительную погрешность измерения уровня и, следовательно, уменьшить случайную погрешность измерения уровня возможно введением экранирования и изолирования электрического поля от случайных факторов воздействия путем улучшения конструкции измерителя.

### **Заключение**

Моделирование стержня в электролите методом конечных элементов позволяет моделировать любую конфигурацию среды с разными условиями электропроводности жидкости и расположения сенсора. Результаты моделирования позволяют оценить погрешность измерения устройства, основанного на потенциометрическом методе измерения. Описанный метод моделирования может быть применен для емкостного уровнемера с составлением уравнений диэлектрической проводимости измеряемой среды [15].

*Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP13268797).*

### **Список литературы**

1. Mohindru P. Development of liquid level measurement technology: A review / P. Mohindru // Flow Measurement and Instrumentation. – 2023. – № 89. – С. 30-43.
2. Седалищев В.Н. Методы и средства измерений неэлектрических величин: учеб. пособие / В.Н. Седалищев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 160 с.
3. Бегунов, А.А. Выбор средств и методик измерений / А.А. Бегунов, В.Л. Иванов, Е.А. Травина. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 25 с.
4. Пат. US20190049282A1 США. Sensor array for the potentiometric measurement of a fill level in a container / Daniel B., Peter F.; заявитель и патентообладатель Baumer Electric AG.; опубл. 14.02.19. – 7 с.
5. Staff E. Potentiometric Level Measurement Principle [Электрон. ресурс] / E. Staff // Inst Tools. – 2017. URL: <https://instrumentationtools.com/potentiometric-level-measurement-principle> (дата обращения 02.09.23).
6. Алексеев, Г.В. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений: учеб. пособие / Г.В. Алексеев. – Владивосток: Владивосточный федеральный университет, 2010. – С. 19-29.
7. Абиев Р.Ш. Алгоритмизация расчетов технологического оборудования. Введение в метод конечных разностей: учеб. пособие / Р.Ш. Абиев. – СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 2016. – С. 19-59.
8. Enriched finite element approach for modeling discontinuous electric field in multi-material problems / C. Narváez-Muñoz, M.R. Hashemi, P.B. Ryzhakov et al // Finite Elements in Analysis and Design. – 2023. – № 225.
9. Dimitrios G. Essentials of the Finite Element Method / G. Dimitrios // Academic Press/ – 2015. – P. 1-18.

10. Tan C.M. Applications of Finite Element Methods for Reliability Study of ULSI Interconnections / C.M. Tan, W. Li, Z. Gan // *Microelectronics Reliability*. – 2012. – № 8. – P. 1539-1545.
11. An improvement of the finite-element method for computing the electric field of waveguides with complex geometry / S. Rodríguez-Mattalia, L. Nuño, L. Jódar, J.V. Balbastre // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2005. – № 41. – P. 791-805.
12. Гайдукова, Е.В. Численные методы в гидрологии: учеб. пособие / Е.В. Гайдукова, Н.В. Викторова. – СПб.: РГГМУ, 2019. – С. 18-24.
13. Калиткин Н.Н. Численные методы. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования / Н.Н. Калиткин, П.В. Корякин. – М: Академия, 2013. – С. 103.
14. Матвиенко В.А. Основы теории цепей: учеб. пособие для вузов / В.А. Матвиенко. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. – С. 42-32.
15. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин. – М: Техносфера, 2012. – 624 с.

### References

1. Mohindru P. Development of liquid level measurement technology: A review / P. Mohindru // *Flow Measurement and Instrumentation*. – 2023. – № 89. – S. 30-43. (In English).
2. Sedalishchev V.N. Metody i sredstva izmerenii neelektricheskikh velichin: ucheb. posobie / V.N. Sedalishchev. – Barnaul: Izd-vo AITGTU, 2010. – 160 s. (In Russian).
3. Begunov, A.A. Vybór sredstv i metodik izmerenii / A.A. Begunov, V.L. Ivanov, E.A. Travina. – SPb: Universitet ITMO, 2019. – 25 s. (In Russian).
4. Pat. US20190049282A1 SSHA. Sensor array for the potentiometric measurement of a fill level in a container / Daniel B., Peter F.; заявитель i патентообладатель Baumer Electric AG.; opubl. 14.02.19. – 7 s. (In English).
5. Staff E. Potentiometric Level Measurement Principle [Elektron. resurs] / E. Staff // *Inst Tools*. – 2017. URL: <https://instrumentationtools.com/potentiometric-level-measurement-principle> (data obrashcheniya 02.09.23). (In English).
6. Alekseev, G.V. Vvedenie v chislennyye metody resheniya differentsial'nykh uravnenii: ucheb. posobie / G.V. Alekseev. – Vladivostok: Vladivostochnyi federal'nyi universitet, 2010. – S. 19-29. (In Russian).
7. Abiev R.SH. Algoritmizatsiya raschetov tekhnologicheskogo oborudovaniya. Vvedenie v metod konechnykh raznostei: ucheb. posobie / R.SH. Abiev. – SPb.: Izd-vo NII khimii SPBGU, 2016. – S. 19-59. (In Russian).
8. Enriched finite element approach for modeling discontinuous electric field in multi-material problems / C. Narváez-Muñoz, M.R. Hashemi, P.B. Ryzhakov et al // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2023. – № 225. (In English).
9. Dimitrios G. Essentials of the Finite Element Method / G. Dimitrios // *Academic Press*/ – 2015. – P. 1-18. (In English).
10. Tan C.M. Applications of Finite Element Methods for Reliability Study of ULSI Interconnections / C.M. Tan, W. Li, Z. Gan // *Microelectronics Reliability*. – 2012. – № 8. – R. 1539-1545. (In English).
11. An improvement of the finite-element method for computing the electric field of waveguides with complex geometry / S. Rodríguez-Mattalia, L. Nuño, L. Jódar, J.V. Balbastre // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2005. – № 41. – R. 791-805. (In English).
12. Gaidukova, E.V. Chislennyye metody v gidrologii: ucheb. posobie / E.V. Gaidukova, N.V. Viktorova. – SPb.: RGGMU, 2019. – S. 18-24. (In Russian).
13. Kalitkin N.N. Chislennyye metody. Metody matematicheskoi fiziki: uchebnyk dlya stud. uchrezhdenii vyssh. prof. Obrazovaniya / N.N. Kalitkin, P.V. Koryakin. – M: Akademiya, 2013. – S. 103. (In Russian).
14. Matvienko V.A. Osnovy teorii tsepei: ucheb. posobie dlya vuzov / V.A. Matvienko. – Ekaterinburg: UMTS UPI, 2016. – S. 42-32. (In Russian).
15. Datchiki: Spravochnoe posobie / V.M. Sharapov, E.S. Polishchuk, N.D. Koshevoi, G.G. Ishanin. – M: Tekhnosfera, 2012. – 624 s. (In Russian).



## **ДЕҢГЕЙДІҢ ПОТЕНЦИОМЕТРИЯЛЫҚ ДАТЧИГІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ АҚАУЫН БАҒАЛАУ**

*Бұл мақалада резервуардағы электр өткізгіш сұйықтықтың деңгейін өлшеу үшін Потенциометриялық деңгей өлшегіштің жұмыс принципі қарастырылған. Электр өткізгіш сұйықтық Жерге тұйықталған резервуардағы жанама әдіспен деңгей өлшегішпен өлшенеді. Құрылғы төмен электр кедергісі бар сенсордан, айнымалы ток генераторынан, металл резервуар қабырғасынан және әлсіз сигнал күшейткішінен тұрады.*

*Беріліс функциясының сызықтық значениястігі сенсордың өлшенген мәндерін алдынала сызықтандырусыз пайдалануға мүмкіндік бермейді. Сондықтан электр өткізгіш сұйықтықтағы сенсор моделін жасап, деңгейді өлшеу дәлдігіне әсер ететін факторларды анықтау қажет.*

*Өлшеу дәлдігін бағалау үшін мақалада цилиндрлік қабырғалы резервуардағы Потенциометриялық деңгей өлшегіш сенсоры жасаған электролит ішіндегі электр өрісінің моделі келтірілген. Электролит ішіндегі потенциалдар мен токтарды есептеу үшін ақырлы элементтер әдісіне негізделген сандық әдістер қолданылады. Ақырлы элемент моделі және ақырлы элемент торы ақырлы элементтер арасындағы потенциалдардың берілуін қарастыруға мүмкіндік берді.*

*Потенциометриялық деңгей Өлшегіштегі деңгейді өлшеу қателігі жол берілмейтін мәнге ие және сұйықтық деңгейіне және деңгей өлшегіштің орналасуына байланысты болатындығы көрсетілген.*

*Алынған модель негізінде сұйықтық деңгейінің өлшенген мәніне әсер ететін факторлар анықталды және абсолютті және салыстырмалы өлшеу қателіктері есептелді. Деңгей өлшегіштің өлшеу дәлдігін жақсартудың келесі қадамдары да анықталды.*

**Түйін сөздер:** *потенциометриялық әдіс, деңгей өлшегіш, модельдеудің сандық әдістері, ақырғы элементтер әдісі, өлшеу ақауы.*

**A.P. Smirnov, E.S. Ritter\*, A.A. Savostin, D.V. Ritter, S.S. Moldakhmetov**  
North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev,  
150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, st. Pushkin, 86  
\*e-mail: esritter@ku.edu.kz

## **MODELING OF A POTENTIOMETRIC LEVEL SENSOR AND ERROR ASSESSMENT**

*This article discusses the principle of operation of a potentiometric level meter for measuring the level of an electrically conductive liquid in a vessel. An electrically conductive liquid is measured by an indirect method in a grounded tank. The device consists of a sensor with low electrical resistance, an alternator, a metal vessel wall and a small signal amplifier.*

*The nonlinearity of the transfer function does not allow the measured values of the sensor to be used without preliminary linearization. Therefore, it is necessary to develop a sensor model in an electrically conductive liquid and determine factors affecting the accuracy of level measurement.*

*To assess the accuracy of measurements, the article presents a model of the electric field inside the electrolyte created by a sensor of a potentiometric level meter in a vessel with a cylindrical wall. Numerical methods based on the finite element method are used to calculate potentials and currents inside the electrolyte. The finite element model and the finite element grid allows to consider the transfer of potentials between finite elements.*

*It is shown that the level measurement error in a potentiometric level meter has an unacceptable value and depends on the liquid level and on the location of the level meter.*

*Based on the obtained model, the factors influencing the measured value of the liquid level were determined and the absolute and relative measurement errors were calculated. Further steps have also been identified to improve the accuracy of measuring the level gauge.*

**Key words:** potentiometric method, level meter, level sensor, numerical modeling methods, finite element method, measurement error.

#### **Сведения об авторах**

**Андрей Петрович Смирнов** – докторант, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, e-mail: gprsboost03@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1220-2657>.

**Екатерина Сергеевна Риттер\*** – PhD, доцент, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, e-mail: esritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1201-1247>.

**Алексей Александрович Савостин** – профессор, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, e-mail: asavostin@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5057-2942>.

**Дмитрий Викторович Риттер** – профессор, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, e-mail: dritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>.

**Саят Сайранович Молдахметов** – PhD, доцент, кафедра «Энергетика и радиоэлектроника», Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Андрей Петрович Смирнов** – докторант, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасы, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: gprsboost03@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1220-2657>.

**Екатерина Сергеевна Риттер\*** – PhD, доцент, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасы, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: esritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1201-1247>.

**Алексей Александрович Савостин** – профессор, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: asavostin@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5057-2942>.

**Дмитрий Викторович Риттер** – профессор, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: dritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>.

**Саят Сайранович Молдахметов** – PhD, доцент, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасы, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>.

#### **Information about the authors**

**Andrey Smirnov** – doctoral student, «Energetic and radioelectronics» chair, Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Kazakhstan, e-mail: gprsboost03@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1220-2657>.

**Ritter Ekaterina\*** – PhD, associate professor, «Energetic and radioelectronics» chair, Manash Kozybayev, e-mail: esritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1201-1247>.

**Alexey Savostin** – professor, «Energetic and radioelectronics» chair, candidate of technical sciences, associate professor, Manash Kozybayev, e-mail: asavostin@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5057-2942>.

**Dmitry Ritter** – professor, «Energetic and radioelectronics» chair , candidate of technical sciences, associate professor, Manash Kozybayev, e-mail: dritter@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>.

**Sayat Moldakhmetov** – PhD, associate professor, «Energetic and radioelectronics» chair, Manash Kozybayev, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>.

*Поступила в редакцию 27.02.2024*

*Принята к публикации 14.03.2024*