



## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОНИВЕЛИРЕ С СЕТОЧНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ДАТЧИКОВ

*Р. В. Цветков, Г. Н. Гусев, В. В. Епин, А. П. Шестаков*

**Цветков Роман Валерьевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории интеллектуального мониторинга, Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2378330; e-mail: flower@icmm.ru;

**Гусев Георгий Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуального мониторинга, Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2378384; e-mail: gusev.g@icmm.ru;

**Епин Валерий Валерьевич**, младший научный сотрудник лаборатории функциональных материалов, Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2378330; e-mail: epin.v@icmm.ru;

**Шестаков Алексей Петрович**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории интеллектуального мониторинга, Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2378308; e-mail: shap@icmm.ru

Системы гидростатического нивелирования позволяют устанавливать нужное количество датчиков и соединять их произвольным образом. По закону сообщающихся сосудов, жидкость в них в конечном итоге установится на одном уровне. Для описания переходных процессов в математической постановке приняты допущения о том, что движение жидкости в трубках нивелира описывается уравнением Бернулли с учетом диссипации по закону Пуазейля. Предложена математическая модель для гидронивелира, измерительные сосуды которого находятся в узлах сетки и соединяются с четырьмя соседними датчиками. Произведены численные оценки времени окончания переходных процессов в системе при разных ее параметрах. Проведено сравнение результатов для предложенной сеточной и последовательной схемами соединения датчиков. В качестве примера показано, как с увеличением числа датчиков сеточная схема соединения оказывается предпочтительнее последовательной.

**Ключевые слова:** долговременные измерения, гидростатический нивелир, гидронивелир, уровень жидкости, переходные процессы, математическая модель.

## NUMERICAL ANALYSIS OF TRANSIENT PROCESSES IN A HYDROSTATIC LEVEL WITH A GRID CONNECTION OF SENSORS

*R. V. Tsvetkov, G. N. Gusev, V. V. Yepin, A. P. Shestakov*

**Tsvetkov Roman Valeryevich**, Candidate of Technical Sciences, Researcher of Laboratory of Intellectual Monitoring, Institute of Continuous Media Mechanics, Perm, Russian Federation, phone: +7(342)2378330; e-mail: flower@icmm.ru;

**Gusev Georgiy Nikolayevich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Intellectual Monitoring, Institute of Continuous Media Mechanics, Perm, Russian Federation, phone: +7(342)2378384; e-mail: gusev.g@icmm.ru;

**Yepin Valeriy Valeryevich**, Junior Researcher of Laboratory of Functional Material, Institute of Continuous Media Mechanics, Perm, Russian Federation, phone: +7(342)2378330; e-mail: epin.v@icmm.ru;

**Shestakov Aleksey Petrovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher of Laboratory of Intellectual Monitoring, Institute of Continuous Media Mechanics, Perm, Russian Federation, phone: +7(342)2378308; e-mail: shap@icmm.ru

An arbitrary number of sensors can be installed in hydrostatic level systems and connected in an arbitrary way. According to the law of communicating vessels the liquid balances out to the same level in all of the vessels. To describe the transient processes, assumptions were made, that the movement of fluid in the tubes of the level is described by the Bernoulli equation, taking into account Poiseuille dissipation A mathematical model of a hydrostatic level is proposed, the measuring vessels of which are located at the nodes of the grid and are connected to four neighboring vessels. Numerical estimates of the time of the end of transient processes are made for different parameters of the system. A comparison of the results of these times for the proposed grid and serial schemes for connecting sensors is carried out. As an example, it is shown that with an increase in the number of sensors, the grid connection scheme is more preferable than the serial one.

**Keywords:** long-term measurements, hydrostatic level, liquid level, transients, mathematical model.

### Введение

Долговременный контроль перемещений инженерных объектов и конструкций является важной частью обеспечения их безопасности при мониторинге [1–2]. Известный еще с древности метод гидростатического нивелирования [3] и в настоящее время не теряет актуальности благодаря своей простоте, надежности, работе в различных условиях. Системы гидростатического

нивелирования применяются для измерения вертикальной компоненты перемещений при мониторинге склонов [4], инженерных сооружений [5, 6], зданий [7], мостов [8, 9], туннелей [10], ускорителей частиц [11].

Традиционно под термином гидронивелир подразумевается трубка, наполненная жидкостью, с двумя измерительными сосудами по

краям. Этот простейший прибор позволяет осуществлять контроль вертикальных перемещения между двумя точками в пространстве. Однако по закону сообщающихся сосудов число их может быть произвольным, что позволяет организовать измерения с необходимым пространственным разрешением. Так, например, на несущие элементы конструкции в одном уровне можно установить нужное количество сосудов-датчиков, соединенных между собой трубками произвольным образом. Причем соединительная трубка не обязательно должна проходить по прямой, благодаря чему можно контролировать вертикальные перемещения точек, не находящихся в прямой видимости. Таким образом, можно адаптировать измерительную систему под объект исследования путем расположения датчиков и шлангов нужным образом. Например, для строительной конструкции можно организовать контроль поля вертикальных перемещений фундамента, размещая датчики на все его основные элементы.

Строительные сооружения имеют разные конструктивы основания, под которые требуется адаптировать гидростатический нивелир. Различные схемы соединения датчиков оказывают влияние на динамические свойства гидронивелира, как измерительного прибора. Переходные процессы, связанные с перетеканием жидкости, влияют на характерное время установления жидкости и точность измерений. Ранее в работах [12–13] была рассмотрена модель гидростатического нивелира с последовательной схемой соединения датчиков, то есть к датчику примыкало по две соединительные трубки. Такая схема соединения подходит для протяженных и узких зданий. Однако существуют и широкие здания с несущими колоннами, оседание которых требуется контролировать. Количество колонн в них может превышать десять в одном направлении, а общее их число достигать сотни. В таком случае можно использовать «сеточную» схему соединения датчиков гидронивелира, расположенных на колоннах, а соединительных трубок по их осям. Согласно этой схеме датчик соединяется с четырьмя соседними.

**Цель работы** – создание новой математической модели гидронивелира для сеточной схемы соединения датчиков, с помощью которой можно решать задачи о переходных процессах при различных его параметрах. **Актуальность** проблемы подтверждается активным применением гидронивелиров в системах мониторинга по данным литературы.

#### Математическая модель переходных процессов в гидронивелире

Показания гидростатического нивелира производится на основании изменения высоты поднятия (уровня) жидкости в его измеритель-

ных сосудах. Под уровнем жидкости в измерительном сосуде подразумевается положение границы по вертикали между жидкостью и газом, на которую воздействуют различные силы со стороны газа, жидкости, а также силы поверхностного натяжения. В общем случае движение вязкой жидкости в сосудах и соединительных шлангах описывается уравнениями Навье – Стокса. В случае значительного числа измерительных сосудов, и протяженных соединительных трубок, полная модель, позволяющая отслеживать динамику изменения уровней жидкости, будет достаточно сложной и потребовать значительных вычислительных ресурсов. По этой причине для оценки динамики движения жидкости в гидронивелире применяют упрощенные модели, основанные на уравнении Бернулли, где высота поднятия жидкости в сосуде в поле силы тяжести связана с давлением по закону Паскаля, а учет диссипации в круглых соединительных трубках производится по закону Пуазейля. Для нивелира из двух датчиков переходные процессы традиционно описывают аналитически [14, 15], в том числе в приближении длиннобазисного нивелира [16].

Произвольный гидростатический нивелир можно представить в виде совокупности измерительных сосудов и трубок-сегментов, соединяющих их произвольным образом. На рисунке 1 показаны основные параметры модели измерительного сосуда и соединительного сегмента (давление  $P$  и  $P'$ , средние скорости жидкости  $V$  и  $v$ , радиусы сосудов и шланга  $r$  и  $R$ , высота столба жидкости в сосуде  $h$ , длина соединительной трубки  $L$ ).

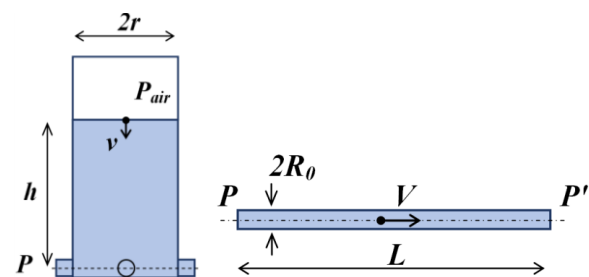


Рис. 1. Схема измерительного сосуда (слева) и соединительного сегмента (справа)

Уравнения баланса жидкости плотности  $\rho$  и вязкости  $\mu$  для измерительного сосуда (1) и соединительного сегмента (2) можно записать в виде:

$$-\rho h \frac{dv}{dt} + P - P_{air} - \rho gh - \frac{8 \cdot \mu \cdot h \cdot v}{r^2} k = 0, \quad (1)$$

$$-\rho L \frac{dV}{dt} + P' - P - \frac{8 \cdot \mu \cdot L \cdot V}{R_0^2} K = 0. \quad (2)$$

Поскольку диссипация энергии при гармоническом режиме оказывается выше, чем при равномерном течении, описываемом законом Пуазейля, поэтому согласно [17] применяют поправочный коэффициент  $K$ , зависящий от частоты колебаний.

В случае сеточного соединения датчиков введем обозначения сегментов (рис. 2). Окружностями с индексами  $i$  и  $j$  обозначены измерительные сосуды, горизонтальными и вертикальными линиями обозначены соединительные сегменты с соответствующими им символами  $x$  и  $y$ , а также индексами  $i$  и  $j$ .

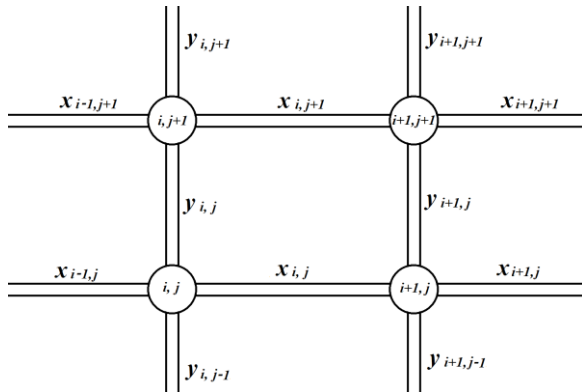


Рис. 2. Схема обозначения сегментов и сосудов «сеточного» нивелира

Основные параметры нивелира (радиусы сосудов  $r$ , длины сегментов  $L$ , скорости жидкости  $v$  и  $V$ , давления  $P$ ) для каждого узла или сегмента обозначим в соответствии со схемой рисунка 2. Плотность жидкости  $\rho$ , динамическая вязкость  $\mu$  и радиус соединительной трубки считаем постоянными.

Система уравнений состоит из уравнения баланса (3) для измерительного сосуда  $(i,j)$ , уравнения баланса (4) для соединительной трубки  $(i,j)$  по оси  $x$ ; уравнения баланса (5) для соединительной трубки  $(i,j)$  по оси  $y$ ; уравнения связи скорости жидкости в сосуде и уровня жидкости (6), а также уравнения непрерывности (баланса расходов жидкости) для узла – (7). В уравнении (3) диссипацией в измерительном сосуде пренебрегаем в приближении,  $h_0 \ll L$ , а также считаем давление воздуха неизменным над всеми сосудами.

$$-\rho h_{i,j} \frac{dv_{i,j}}{dt} + P_{i,j} - \rho g h_{i,j} = 0; \quad (3)$$

$$-\rho L x_{i,j} \frac{dVx_{i,j}}{dt} + P_{i,j} - P_{i-1,j} - \frac{8 \cdot \mu \cdot L x_{i,j} Kx_{i,j} Vx_{i,j}}{R_0^2} = 0; \quad (4)$$

$$-\rho L y_{i,j} \frac{dVy_{i,j}}{dt} + P_{i,j} - P_{i,j-1} - \frac{8 \cdot \mu \cdot L y_{i,j} Ky_{i,j} Vy_{i,j}}{R_0^2} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{dh_{i,j}}{dt} = v_{i,j}; \quad (6)$$

$$-Vx_{i,j} R_0^2 + Vx_{i-1,j} R_0^2 - Vy_{i,j} R_0^2 + Vy_{i-1,j} R_0^2 - v_{i,j} r_{i,j}^2 = 0, \quad (7)$$

где  $Kx_{i,j}$ ,  $Ky_{i,j}$  – коэффициенты, зависящие от частоты осцилляций жидкости в соответствующих соединительных сегментах. При равномерном течении (Пуазейль)  $K = 1$ . Для сегмента  $x_{ij}$  коэффициент  $Kx_{ij}$  согласно [17] равен:

$$Kx_{i,j} = \frac{\bar{\omega}_{i,j}^x \cdot (4 \cdot \bar{\omega}_{i,j}^x - \sqrt{\bar{\omega}_{i,j}^x})}{(2\sqrt{\bar{\omega}_{i,j}^x} - 1) \cdot (4 \cdot \bar{\omega}_{i,j}^x - 2\sqrt{\bar{\omega}_{i,j}^x} + 1)}, \quad (8)$$

где  $\bar{\omega}_{i,j}^x = \frac{\omega_{i,j}^x \cdot \rho \cdot R_0^2}{8 \cdot \mu}$ , безразмерная циклическая

частота колебаний жидкости в сегменте  $x_{ij}$ . Аналогичным образом определяется коэффициент  $Ky_{ij}$  в зависимости от частоты  $\omega_{ij}^y$  для сегмента  $y_{ij}$ .

Данная система уравнений (3)–(7) относительно переменных  $h_{ij}$ ,  $Vx_{ij}$ ,  $Vy_{ij}$ ,  $H_{ij}$  решается численно с помощью пакета Matlab. Число уравнений и неизвестных зависит от рассматриваемого количества датчиков и сегментов в каждом из направлений. Начальные условия определяются в виде:

$$h_{i,j} = h_{i,j}^0, Vx_{i,j} = Vx_{i,j}^0, Vy_{i,j} = Vy_{i,j}^0, P_{i,j} = P_{i,j}^0. \quad (9)$$

Переходные процессы в данной системе могут возникать в результате различных возмущений, вызванных начальными условиями: по скорости, давлению или высоте столбов жидкости. В работе задается уровень жидкости в одном из сосудов отличающийся от других на величину  $\Delta h$ .

Для оценки времени завершения переходных процессов в данной системе можно применять различные критерии. В работе время, обозначенное  $T$ , за которое достигается значения уровня жидкости во всех сосудах с точностью  $\varepsilon$  от начального возмущения  $\Delta h$ , оценивается по следующему условию:

$$h_{i,j}^{end} - \varepsilon \cdot \Delta h \leq h_{i,j} \leq h_{i,j}^{end} + \varepsilon \cdot \Delta h, \quad \forall t \geq T. \quad (10)$$

### Результаты численного моделирования

Характер переходных процессов в гидронивелире зависит от значений его параметров, таких как количество датчиков, радиусы измерительных сосудов, соединительных шлангов, их длин, а также свойств жидкости. Различные схемы соединения датчиков тоже оказывают на него влияние. На рисунке 3 представлено два варианта соединения датчиков на колоннах конструкции при общем их количестве  $6 \times 6$ . Кружками обозначены сосуды-датчики, а прямыми линиями – соединительные сегменты.

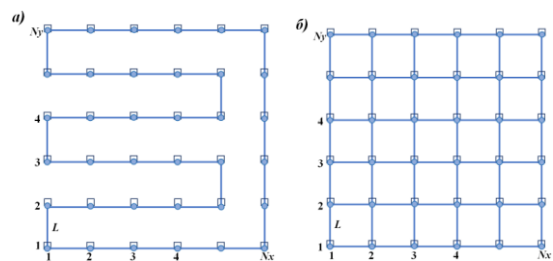


Рис. 3. Варианты соединения датчиков: тип 1 (а), тип 2 (б)

Поскольку размеры соединительных сегментов нивелира определяются характерным расстоянием между несущими элементами конструкции, таким как шаг между колоннами, то выберем его в качестве  $L$ . Значение его в каркасных конструкциях, как правило, фиксировано, и находится в диапазоне от нескольких метров, положим  $L = 6$  м. Средняя высота столба жидкости  $h_0$  определяются строением датчика. Нужно отметить, что ее уменьшение снижает температур-

ную погрешность нивелира, но сужает и измерительный диапазон датчика, который не может превышать  $h_0$ . В типичных вариантах гидростатического нивелира средняя высота столба жидкости составляет порядка десятка сантиметров. Рассмотрим  $h_0 = 0,1$  м. Выберем параметры для жидкости  $\rho = 998$  кг/м<sup>3</sup> и вязкости  $\mu = 0,001$  Па·с, соответствующие воде при температуре 20 °С.

Начальное воздействие произведено с параметром  $\Delta h = 1$  мм на датчике (2,1), являющимся соседним с нижним. В результате воздействия

жидкость в нивелире начнет двигаться и в измерительных сосудах будет происходить изменения величины  $h$ . На рисунке 4 в качестве примера представлены переходные процессы на четырех датчиках при  $R_0 = 10$  мм и  $r/R_0 = 2$ . Результаты расчетов показывают, что при таких параметрах переходные процессы завершаются существенно быстрее при «сеточном» соединении датчиков (тип 2), чем при последовательном (тип 1).

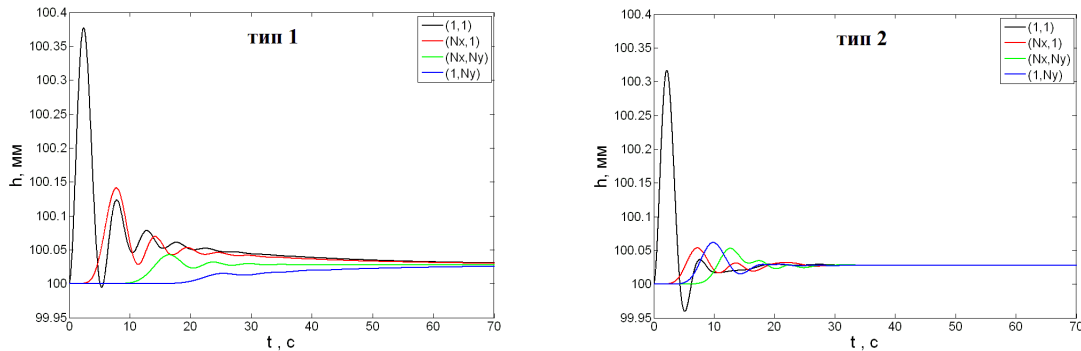


Рис. 4. Переходные процессы на четырех угловых датчиках нивелира для схем типа 1 и 2

В ходе численных экспериментов согласно (10) оценивалось время завершения переходных процессов при значении параметра  $\varepsilon = 0,001$ . На рисунке 5 показаны графики зависимости времени переходных процессов (в размерном виде) для 3 значений диаметра соединительной трубки, различных вариантов отношения  $r/R_0$  и схемы соединения. Графики показывают, что сеточная схема соединения (тип 2) обеспечивает более быстрое (в несколько раз) время завершения переходных процессов по сравнению с последовательной схемой (тип 1). Наиболее заметна разница при больших значениях отношения  $r/R_0$ .

Проведено также сравнение времени переходных процессов при фиксированном размере диаметра сосуда (датчика) и разных схемах соединения. На рисунке 6 представлены результаты для 2 радиусов датчиков 5 и 60 мм. Результаты показывают, что для каждого случая существует оптимальное значение  $r/R_0$  при котором переходные процессы завершаются быстрее. Однако при втором типе соединения (сеточный) переходные процессы завершаются до двух раз

быстрее, чем при первом, если подбирать оптимальное соотношение  $r/R_0$ . Также можно отметить, что для этого потребуются трубка приблизительно в полтора раза меньшего размера, чем при последовательном соединении.

С ростом количества датчиков нивелира увеличивается площадь охватываемой им зоны и общая длина трубок, что влияет на время переходных процессов. На рисунке 7 представлено отношение характерных времен установления жидкости при фиксированном размере расстояния между датчиками  $L = 6$  м и радиусе трубки  $R_0 = 5$  мм в зависимости от числа датчиков  $N$ . Число датчиков соответствует квадратной области с  $N_x = N_y$ . При количестве датчиков  $2 \times 2$  схемы соединения полностью совпадают и оба случая дают одинаковый результат. С ростом числа датчиков отношение характерных времен, а значит и эффективность сеточной схемы увеличивается. При некоторых параметрах оно может превышать десятикратное значение.

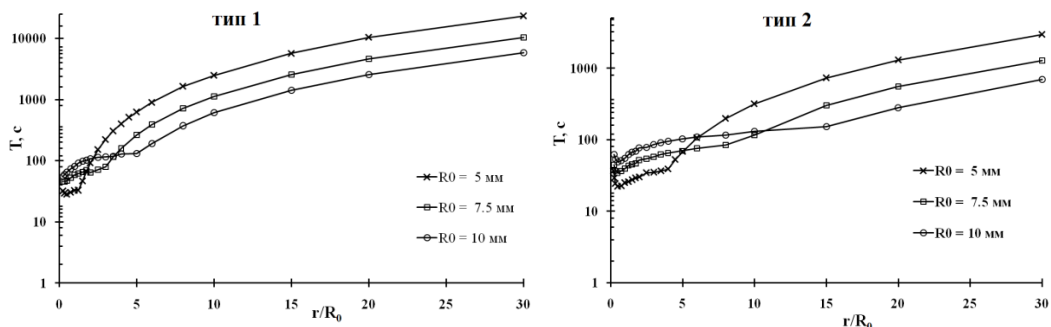


Рис. 5. Время завершения переходных процессов для двух схем соединения при фиксированном размере соединительной трубки

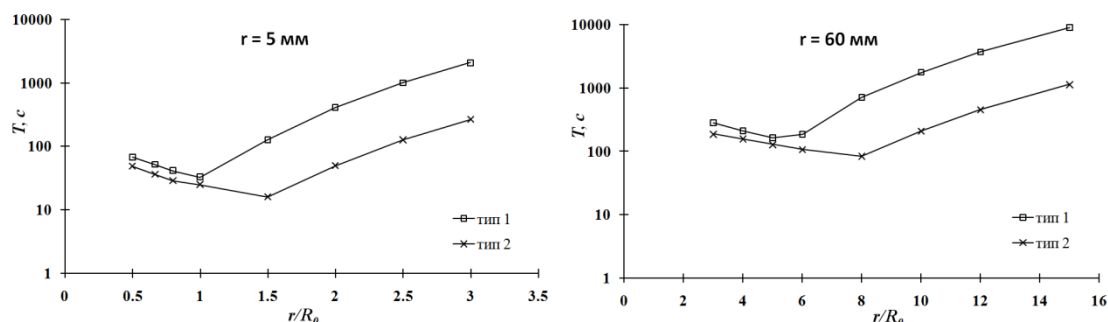


Рис. 6. Время завершения переходных процессов при фиксированном радиусе измерительного сосуда

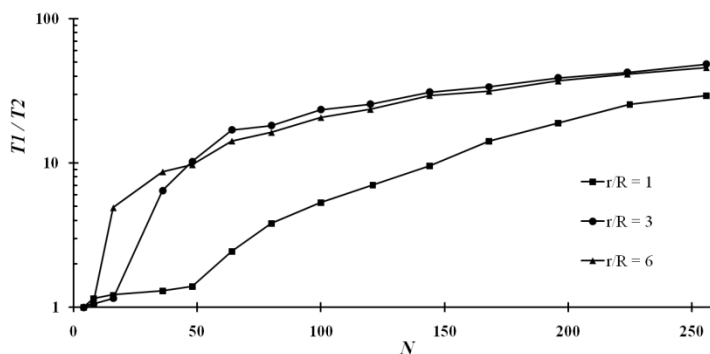


Рис. 7. Отношение времен завершения переходных процессов в зависимости от числа датчиков

В рассматриваемых выше примерах продемонстрированы преимущества сеточного соединения измерительных сосудов для снижения времени установления жидкости в датчиках. Также важно отметить, что наличие дополнительных гидравлических связей между датчиками в ряде случаев может защитить от некорректных измерений, вызванных частичным нарушением этих связей, таких как перегиб соединительного шланга, образование воздушного пузыря, локальное засорение (перемерзание) шланга и т. д. Поэтому применение «сеточной» схемы соединения датчиков является более предпочтительной перед последовательной схемой, особенно в случае значительного количества датчиков.

### Выводы

В работе предложена модель, описывающая движение жидкости в гидронивелире с сеточным соединением произвольного числа датчиков. С помощью модели численно получены изменения уровня жидкости со временем в измерительных сосудах при возмущении одного из них. На основе численных экспериментов произведены оценки времени окончания переходных процессов при разных параметрах системы и двух способах соединения датчиков. Показано во сколько раз «сеточная» схема соединения позволяет снизить время переходных процессов. Полученные результаты могут быть использованы для рационального выбора характерных параметров системы гидронивелирования.

*Работа выполнена в рамках государственного задания (номер темы АААА-А19-19012290100-8).*

### Список литературы

1. Набиев, Р.А. Мониторинг основания здания в условиях стесненной застройки / Р.А. Набиев, А.Ю. Курдюк, С.В. Устюгов, Д.П. Дисяев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. – 2016. – № 4(18). – С. 36–43.
2. Овчинников, И.Г. Непрерывный удаленный мониторинг и диагностика технического состояния мостов / И.Г. Овчинников, А.П. Косауров, Д.И. Суров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. – 2019. – № 3(29). – С. 16–24.
3. Васютинский И.Ю. Гидростатическое нивелирование. Москва: Недра, 1983. – 180с.
4. Сыдыкова, А.С. О Показаниях гидростатических нивелиров при деформационном мониторинге горных склонов / А.С. Сыдыкова, К. Тилегенов, Б.Э. Эмильбеков // Современные проблемы механики. – 2016. – № 25(3). – С. 44–52.
5. Zhang, X. Power Transmission Tower Monitoring with Hydrostatic Leveling System: Measurement Refinement and Performance Evaluation / X. Zhang, Y. Zhang, L. Zhang, G. Qiu, D. Wei // Journal of Sensors. – 2018. – Vol.2018. – 4176314.
6. Кроличенко, В.Ф. Методика наблюдений за деформациями инженерных сооружений с применением гидростатического нивелира с базой измерения до 3 км/ В.Ф. Кроличенко, О.В. Кроличенко, В.В. Кроличенко // Геодезия и картография. – 2016. – № 5. – С.7–10.
7. Буюкян, С.П. Система автоматизированного мониторинга сооружений с использованием датчиков гидростатического нивелирования МОНИТРОН-ДГН-2 / С.П. Буюкян, Г.М. Медведев, А.Н. Симутин // Метро и тоннели. – 2017. – № 5-6. – С. 22-23.
8. Yi, Z. Intelligent settlement monitoring system of high speed railway bridge / Z. Yi, G. Jinshen, W. Xu // Journal of Civil Structural Health Monitoring. – 2019. – Vol. 9. – P.307–323.
9. Rodrigues, C. Fiber-optic-based displacement transducer to measure bridge deflections / C. Rodrigues, C. Felix, J. Figueiras // Structural Health Monitoring. – 2011. – Vol.10. – P. 147–156.

10. Sun, Z. Application and analysis of hydrostatic level gauges in deformation monitoring of subway tunnels during operation / Z. Sun, S. Zhang, N. Liu // Modern Tunneling Technology. – 2015. – Vol.52. – P. 203–208.
11. Boerez, J. Analysis and modeling of the effect of tides on the hydrostatic leveling system at CERN / J. Boerez, J. Hinderer, L. Rivera, M. Jones // Survey Review. – 2012. – Vol.44. – P. 256–264.
12. Tsvetkov, R. Dynamic processes in hydrostatic leveling systems with various configuration and fluid properties / R. Tsvetkov et al // Procedia Structural Integrity. – 2021. – Vol.32 – P.209-215.
13. Tsvetkov, R.V. Numerical estimation of various influence factors on a multipoint hydrostatic leveling system/ R.V. Tsvetkov, V.V. Yepin and A.P. Shestakov // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2017. – 208. – 012046.
14. D'Oreye, N. Very high resolution long-baseline water-tube tiltmeter to record small signals from Earth free oscillations up to secular tilts / N. D'Oreye, W. Zurn // Review of Scientific Instruments. – 2005. – Vol. 76. – 024501.
15. Boudin, F. A silica long base tiltmeter with high stability and resolution / F. Boudin et al // Review of Scientific Instruments. – 2008. – Vol. 79. – 034502.
16. Манукин, А.Б. Результаты долговременных исследований длиннобазисного гидростатического нивелира / А.Б. Манукин, О.С. Казанцева, И.И. Калинин // Сейсмические приборы. – 2019. – Т. 55. № 4. – С. 17-28.
17. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро и пневмосистем. М: Машиностроение, 1976. – 424с.

© Р. В. Цветков, Г. Н. Гусев, В. В. Епин, А. П. Шестаков

**Ссылка для цитирования:**

Цветков Р. В., Гусев Г. Н., Епин В. В., Шестаков А. П. Численный анализ переходных процессов в гидронивелире с сеточным соединением датчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (41). С. 118–123.

УДК 574

DOI 10.52684/2312-3702-2022-40-3-123-128

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ  
И ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ДЕТСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ**

*Т. У. Есмагамбетов, О. М. Шиккульская, И. Т. Богатырев, М. И. Шиккульский*

**Есмагамбетов Тимур Улыкманович**, старший преподаватель кафедры «Цифровая инженерия и IT-аналитика», Карагандинский университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Республика Казахстан, тел.: +7(701)514-50-97; e-mail: timur198300@mail.ru;

**Шиккульская Ольга Михайловна**, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(927)559-14-74; e-mail: shikul@mail.ru;

**Богатырев Исса Тагирович**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(962)640-00-04; e-mail: kafedra.pb@yandex.ru;

**Шиккульский Михаил Игорьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная информатика в экономике», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская федерация, тел.: +7(917)171-31-09; e-mail: shikul\_m@mail.ru

Вследствие стихийности и высокой степени неопределенности при протекании пожара ситуация может меняться непредсказуемо. В связи с этим планы приходится оперативно корректировать в процессе тушения, что приводит к дополнительным временным и финансовым затратам. Авторами обоснована необходимость априорной оценки вероятных рисков и целесообразность использования для решения проблемы функционального моделирования. Показана важность априорной оценки рисков тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в детских учреждениях, обусловленная высокой значимостью жизни и здоровья детей и особенностями объекта. Для решения поставленной задачи авторами разработана функциональная модель процессов тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в детских учреждениях, представленная в работе контекстной диаграммой, ее декомпозицией, диаграммами декомпозиции различных процессов и диаграммой дерева узлов. Ее анализ позволил выявить наиболее сложные процессы, требующие особого внимания и дополнительной проработки.

**Ключевые слова:** пожар, аварийно-спасательные работы, детское учреждение, модель, процесс, декомпозиция, диаграмма дерева узлов, контекстная диаграмма.

**MODELING OF FIRE EXTINGUISHING AND EMERGENCY RESCUE OPERATIONS  
IN CHILDREN'S INSTITUTIONS**

*T. U. Yesmagambetov, O. M. Shikulskaya, I. T. Bogatyrev, M. I. Shikulskiy*

**Yesmagambetov Timur Ulykmanovich**, Senior Teacher of the Department "Digital Engineering and IT-Analytics", Karaganda University of Kazpotrebooyuz, Karaganda, Republic of Kazakhstan, phone: +7(701)514-50-97; e-mail: timur198300@mail.ru;

**Shikulskaya Olga Mikhaylovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: +7(927)559-14-74; e-mail: shikul@mail.ru