

SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL JOURNAL

# SCIENCE NEWS

OF EASTERN  
TECHNICAL  
UNIVERSITIES

No (1-4) 2017

Lublin

# **Science News of Eastern Technical Universities**

Scientific-Technological Journal  
Published once a quarter (four times a year)

No(1-4) 2017  
(Lublin, Poland)

*Established by*                    **Saint Petersburg Universities Alumni Association**  
(Lublin, Polska)  
**Samara Technical University** (Samara, Russia)  
**Global Alumni Alliance** (Moscow, Russia)

*Editor in Chief Deputy*    **Ewa Hołota**  
*Editor Executive*            **Franciszek Świtała**  
*Secretary*                    **Vadim Yu. Alpatov**

*Editorial Board:*            **Stanislav Ya. Galitskov**  
Doctor of Engineering Science, Professor  
**Semen A. Piyavskiy**  
Doctor of Engineering Science, Professor  
**Alexander K. Strelkov**  
Doctor of Engineering Science, Professor  
**Igor S. Kholopov**  
Doctor of Engineering Science, Professor  
**Vadim Yu. Alpatov**  
PhD in Engineering Science, Associate Professor

*Scientific Committee:*    **Mikhail I. Balzannikov**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Russia  
**Franciszek Switała**  
PhD in Engineering Science, Poland  
**Muradulla M. Mukhammadiev**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Uzbekistan  
**Pierre Matar**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Lebanon  
**Alexander R. Tsyganov**  
Doctor of Agricultural Science, Professor, Belarus  
**Plamen Angelov**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Bulgaria  
**Viktor Elistrator**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Russia  
**Wiliam Hogland**  
Doctor of Engineering Science, Professor, Szwecja

Publisher: Stowarzyszenie Absolwentów Uczelni Petersburskich  
Headquarters: ul. Ametystowa 2, 20-577 Lublin

Printing house: F.H.U. STEMPEL BB BARBARA BORSUKIEWICZ  
ul. Poloniusza 11, 20-711 Lublin  
biuro@stempelbb.com  
Cover design - Stanisław Filas

Edition of 100 copies

## TABLE OF CONTENTS

**Бальзанников М.И., Малюгин Н.Ю.**

WATER FLOW IN COMPLEX WATERS OF HYDRO POWER PLANTS

ВОДНЫЙ ПОТОК В СЛОЖНЫХ ВОДОВОДАХ  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

5

**Свитала Ф.М.**

USE OF FREELY ROLLING ENERGY WATER FLOWING FOR  
RENEWABLE ENERGY PRODUCTION IN POLAND

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ СВОБОДНЫХ  
ПОТОКОВ ВОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗБНОВЛЯЕМОЙ  
ЭНЕРГИИ В ПОЛЬШЕ

15

**Холота Ева**

PROBLEMS OF CALIBRATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM  
HYDRAULIC MODEL

ПРОБЛЕМЫ КАЛИБРОВКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

25

**Владимир Иванович Скуль**

DETERMINATION OF THE ELASTIC-DAMPER PROPERTIES OF THE  
ELEVATOR DRIVE SUPPORTS

УДК 69.002.5:531.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛАСТИЧНО-ДАМПЕРНЫХ СВОЙСТВ  
ОПОРНЫХ ПРИВОДОВ ЛИФТА

41

**В.Г. Васильев**

CHOICE OF PARAMETERS OF OSCILLATORY ACTIONS IN THE  
MOLDING OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

UDC 666.97.033.16

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОСЦИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПРИ  
ПЛАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

49

REQUIREMENTS TO PREPARE OF PAPERS OF THE SCIENCE NEWS  
OF EASTERN TECHNICAL UNIVERSITIES

ДОРОГИЕ ДУЗЮЯ ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ ПУБЛИКАЦИЮ  
ИФШИХ НАЦУЧНЫХ СТАТЬЕЙ В СБОРНИКЕ ИЗДАВАЕМЫМ  
В ЕС ( ПОЛЬША) АСОЦИЯЦЕЙ ВЫПУСКНИКОВ САНКТ  
ПЕТЕРБУРСКИХ ВУЗОВ /

**WATER FLOW IN COMPLEX WATERS OF  
HYDRO POWER PLANTS**  
**ВОДНЫЙ ПОТОК В СЛОЖНЫХ ВОДОВОДАХ  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Balzannikov M I. Maljugin N J**  
**Бальзанников М.И., Малюгин Н.Ю.**

*Samara State University of Economics, Samara,  
Самарский государственный экономический университет*

*Annotation. The article notes the importance of performing studies of the water flow in the pipelines of hydroelectric power plants (HPS). Such conduits are very geometrically complex structures. In addition, water conduits are equipped with additional structural elements (for example, grooves for installing valves), which also have a significant effect on the water flow. The results of studies of the flow of water in the conduit of a river-type hydroelectric power station are presented. The studies were carried out on a mathematical model using the ANSYS software shell. The aim of the work was to determine the characteristics of the flow of water in a water conduit in the zone of narrowing of the flow. Studies have identified whirlpool areas of water flow in the water intake area and in the grooves for the gates. It is noted that the flow of water in the grooves for the shutters has a spiral shape and is directed from top to bottom. Such a flow can lead to a decrease in the reliability of the water intake device due to the shutter freezing (jamming) when lowering it*

**Аннотация.** В статье отмечается важность выполнения исследований водного потока в водоводах гидроэлектростанций (ГЭС). Такие водоводы являются весьма сложными в геометрическом отношении конструкциями. Кроме того, водоводы оснащаются дополнительными конструктивными элементами (например, пазами для установки затворов), которые также оказывают существенное влияние на водный поток. Приводятся результаты исследований течения воды в водоводе ГЭС руслового типа. Исследования проводились на математической модели с использованием программной оболочки ANSYS. Целью работы было определение характеристик течения воды в водоводе в зоне сужения потока. Исследованиями выявлены водоворотные области течения воды на водоприемном участке и в пазах для затворов. Отмечено, что течение воды в пазах для затворов имеет спиралевидную форму и направлено сверху вниз. Такое течение может привести к снижению надежности работы

*водоприемного устройства из-за зависания (заклинивания) затвора при его опускании.*

Гидроэлектростанции являются очень сложными в конструктивном отношении объектами, поэтому при их проектировании важная роль принадлежит решению вопросов, связанных с обеспечением надежности их работы. Вопросы повышения надежности гидроэлектростанций (ГЭС) рассматриваются в работах [1-4] и многих других публикациях. При этом значительное внимание уделяется исследованию прочностных характеристик отдельных элементов сооружения от воздействия статических и динамических нагрузок. В качестве таких нагрузок часто рассматриваются воздействия от веса самой конструкции, от веса и работы оборудования и от автомобильного и железнодорожного транспорта [5-8]. Вместе с тем, гидроэлектростанции в своем составе имеют водопроводящий тракт, обеспечивающий подвод воды к силовым гидравлическим агрегатам и далее отвод воды в нижний бьеф гидроузла. Конструкции элементов водопроводящего тракта весьма сложны [9, 10]. На них значительное воздействие оказывает еще и гидродинамическое давление водного потока, которые необходимо учитывать при проектировании и обосновании их геометрических параметров. Внимание к гидростатическому и гидродинамическому воздействию на сооружения проточного тракта значительно возросло после катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия) [11]. При этом важная роль в обосновании параметров водопроводящего тракта отводится исследованиям физических и математических моделей элементов тракта для изучения характера и параметров течения воды в них [12].

Водоприемные сооружения русловых ГЭС имеют значительные габариты и обеспечивают пропуск больших расходов воды к гидравлическому агрегату. Подвод воды всегда осуществляется при существенном сужении потока (уменьшении площади поперечного сечения). Такое сужение в вертикальной плоскости, чаще всего, предусматривается только в верхней части (рис. 1). Конструктивное решение с таким сужением потока воды обеспечивает уменьшение объемов грунтовых работ для обустройства фундаментной плиты.

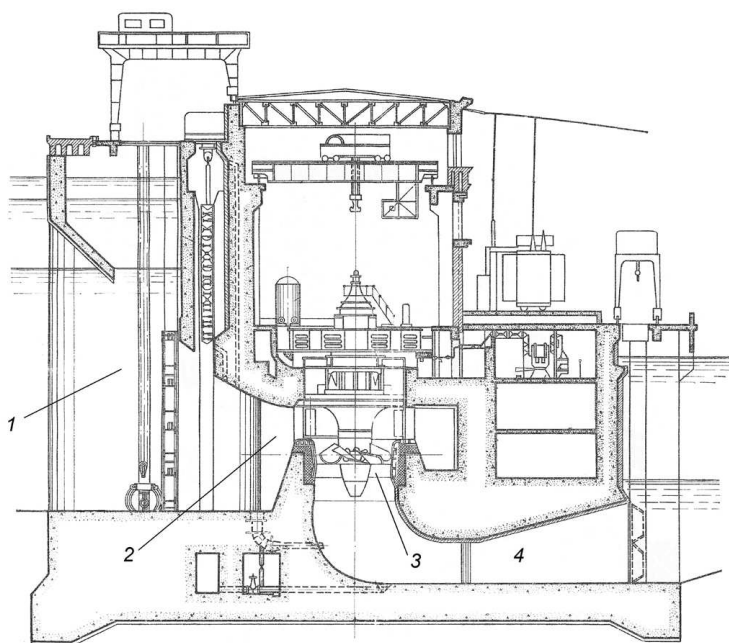


Рис. 1. Водопроводящий тракт русловой ГЭС [13]: 1 – водоприемное устройство, 2 – турбинная камера, 3 – камера рабочего колеса, 4 – отсасывающая труба.

Дополнительные конструктивные элементы в виде пазов для установки затворов, забральной и промежуточной стенок размещаются как раз на участке сужения потока в водоприемном устройстве. Эти элементы, в свою очередь, оказывают существенное влияние на характер течения воды и потери напора. Если размеры конструктивных элементов выбраны неправильно, то это может привести к неблагоприятным гидравлическим условиям течения.

Целью работы являлось выполнение исследований характеристик течения воды в водоприемном сооружении русловой ГЭС в зоне сужения потока и выявление влияния конструктивных элементов на характер и параметры водного потока.

Исследования выполнялись в программной оболочке ANSYS, а в качестве решателя был использован блок CFX [14]. Для достижения цели исследований была использована трехмерная геометрическая модель входной части водоприемного устройства, дополненная подходным участком непосредственно перед водоприемным устройством (рис. 2). Моделируемая область была поделена на множество элементов в виде тетраэдров, размер которых определялся программой в зависимости от кривизны поверхности и близости к другим поверхностям, ограничивающим поток. Дополнительно в сетке была выделена зона пограничного слоя, важная для получения наиболее полной картины



течения воды в пазах затворов. Всего полученная сетка включала в себя около 390 тысяч элементов.

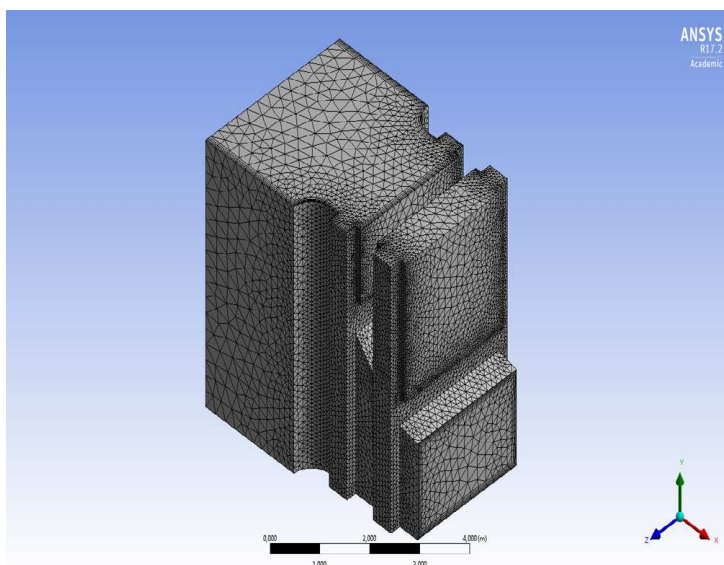


Рис. 2. Трехмерная модель водоприемного устройства с конечно-элементной сеткой

При решении задачи в моделируемом потоке учитывалось наличие гравитационных сил, а также была выбрана k- $\epsilon$  модель турбулентности. Модель турбулентности влияет на корректность решения, однако в рассмотренном случае эти эффекты несущественны в силу работы большинства открытых потоков в квадратичной области сопротивления. Для потока были установлены такие параметры как плотность и динамическая вязкость. После инициализации области определения решения были приняты следующие граничные условия:

- Входная грань потока (inlet-water): массовый расход 10000 кг/с;
- Выходная грань потока (outlet-water): массовый расход 10000 кг/с;
- Грань свободной поверхности воды (opening): относительное давление 0;
- Остальные грани (walls): скорость потока 0.

При задании граничных условий было сделано следующее допущение: свободная поверхность воды не деформируется в зоне контакта входящего потока с водоприемным устройством здания ГЭС. Для решения поставленной задачи было назначено максимальное число итераций равное 500, однако блок-решатель мог остановить алгоритм вычисления при достижении значения ошибки  $10^{-4}$ . Для достижения такого значения ошибки оказалось достаточно около 200 итераций, что свидетельствует о достаточно хорошей сходимости полученного решения. Графики сходимости представлены на рис. 3.

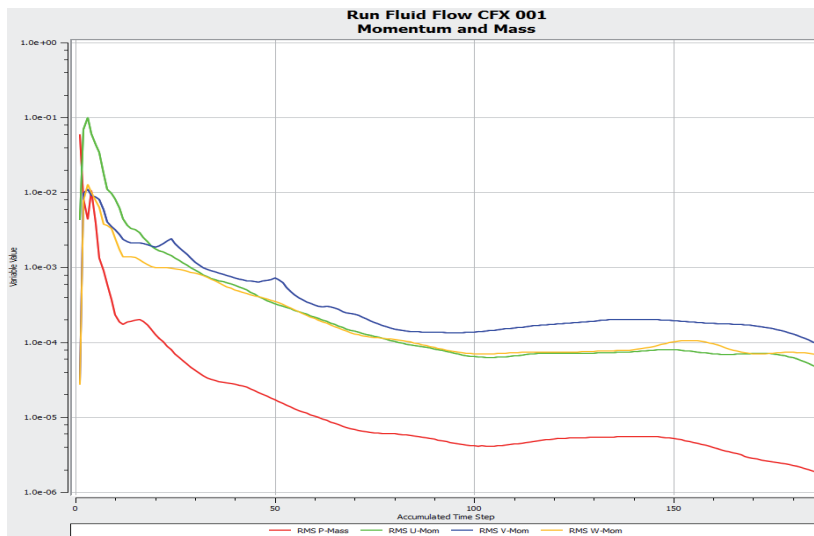


Рис. 3. Графики сходимости решения

С использованием изложенной методики проведены расчеты по определению параметров потока в водоприемном устройстве ГЭС, имеющем сужение только в верхней части водопроводящего тракта. Результаты вычисления параметров потока визуализированы для представления и дальнейшего анализа.

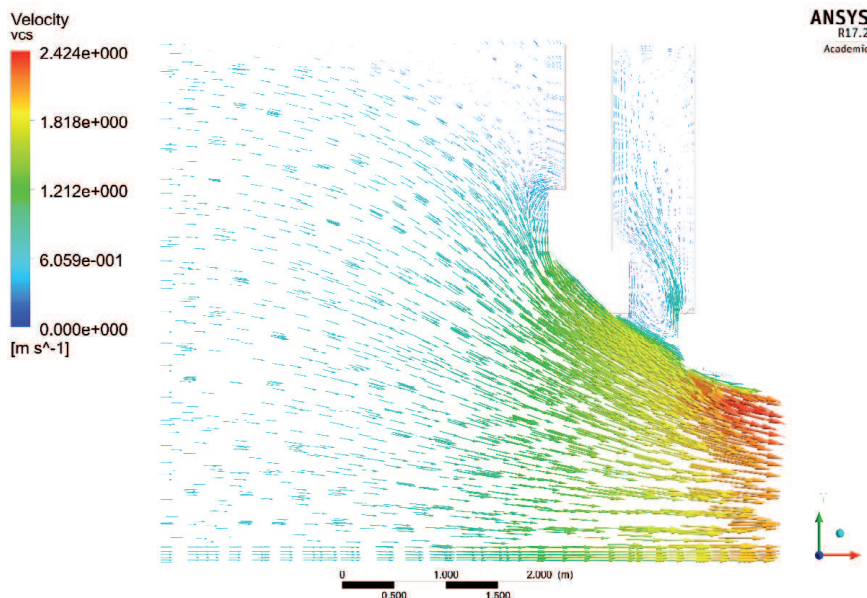


Рис. 4. Параметры скоростей потока в вертикальной плоскости

Параметры скоростей потока (направления и величины) в характерном вертикальном сечении по оси сооружения приведены на рис. 4. Из полученных данных видно, что скорость потока растет с

уменьшением площади живого сечения водопроводящего тракта таким образом, что наибольшие величины наблюдаются в верхней части. При этом между промежуточной и напорной стенками образуется устойчивая водоворотная зона и восходящее движение водного потока.

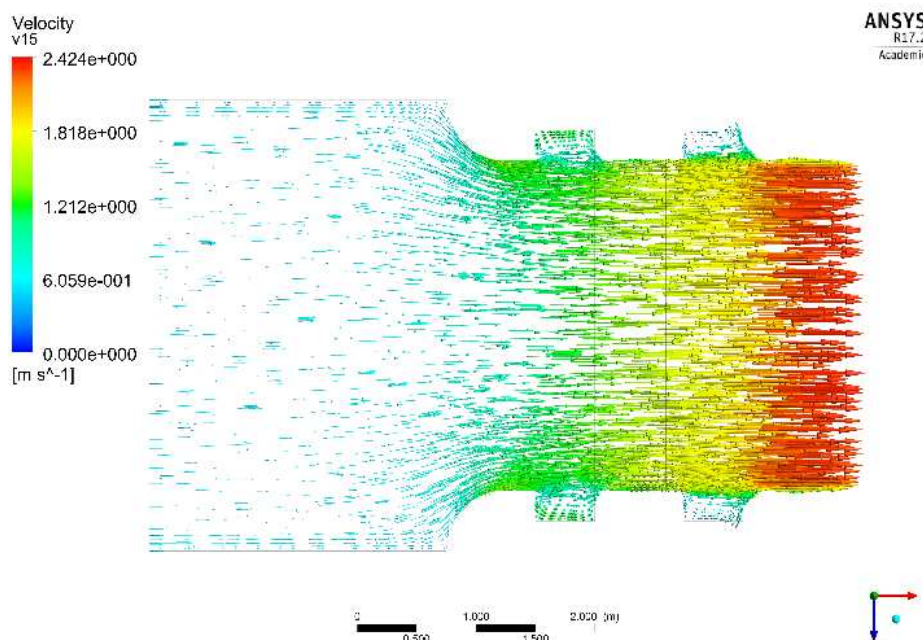


Рис. 5. Параметры скоростей потока в горизонтальной плоскости

На рис. 5 приведены данные, полученные о скоростях потока в горизонтальной плоскости водоприемного устройства. Здесь, на участке сужения водопроводящего тракта и увеличения скорости потока также имеются конструктивные особенности, оказывающие влияние по водный поток. Это –пазы для установки затворов.

Результаты исследования потока в этих пазух в более подробном виде представлены на рис. 6 и 7. На рис. 6 отчетливо видно образование в пазе устойчивых водоворотных зон. Вместе с тем, на вертикальном разрезе, проходящем непосредственно через пазы для затворов (рис. 7), наблюдается нисходящий водный поток. Это свидетельствует о спиралевидной форме потока воды в пазе для затвора, закрученного и направленного сверху вниз.

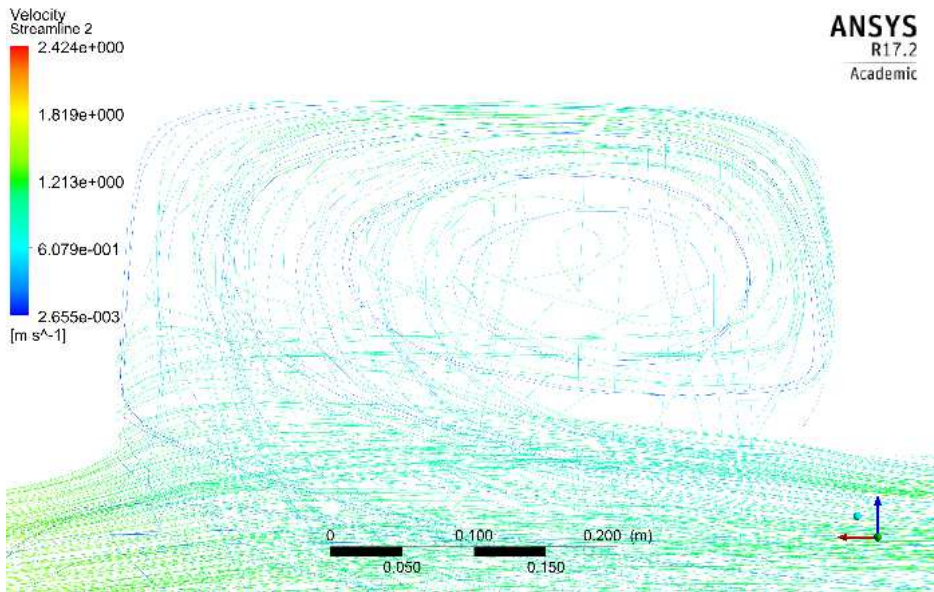


Рис. 6. Параметры скоростей потока в пазу водоприемного устройства в горизонтальной плоскости

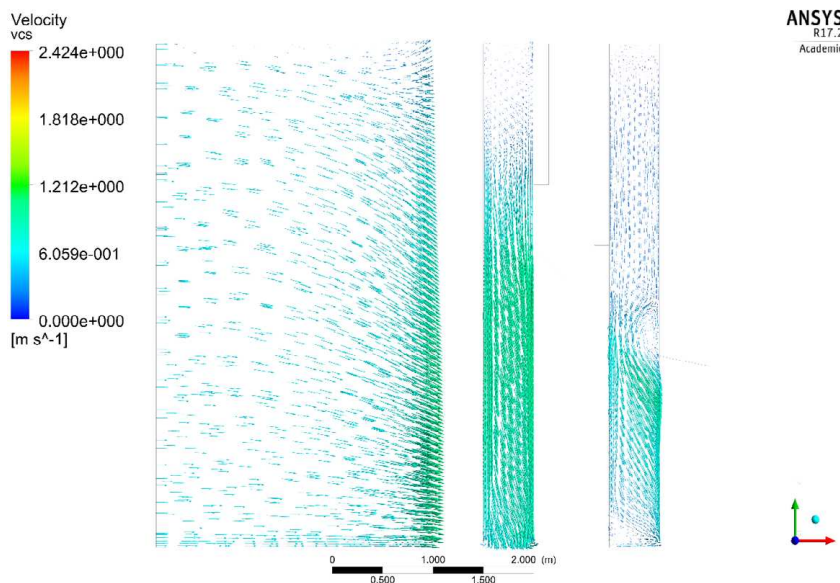


Рис. 7. Параметры скоростей потока в пазу водоприемного устройства в вертикальной плоскости

Исследования течения воды в водоприемном устройстве русловой ГЭС позволили выявить устойчивые водоворотные области именно на участке сужения сечения водного потока. При этом на отдельных участках образуются восходящие и нисходящие потоки воды. Водоворотные области

способствуют увеличению потерь напора и снижают эффективность работы ГЭС. Кроме того, в области водоворотных течений могут наблюдаться срыв водных вихрей, что несомненно обусловит повышение динамического воздействия на конструкцию водоприемника и снижение надежности работы всего сооружения.

Наиболее опасны, на наш взгляд, нисходящее спиралевидное движение воды в пазах для затворов водоприемного устройства. Опасность обусловлена возможным увлечением с потоком мелкого сора и осаждения его в нижней части паза. В свою очередь, скопление такого сора в нижней части паза может привести к зависанию (заклиниванию) затвора при его опускании в аварийной ситуации. Это недопустимо по условиям обеспечения высокой надежности работы ГЭС.

Полученные результаты имеют важное значение для правильного выбора формы и геометрических параметров конструктивных элементов водоприемного устройства. Кроме этого, результаты обращают внимание на необходимость выполнять регулярные обследования нижней зоны пазов на предмет своевременного обнаружения скопления осажденного сора и его удаления. Такие мероприятия обеспечат сохранение высокой надежности работы русловой ГЭС.

## **ВЫВОДЫ**

1. Исследования параметров водного потока в сложных по конструктивному исполнению элементах водопроводящего тракта имеют важное значение для правильного выбора формы и геометрических параметров этих элементов. Обоснованные формы и размеры элементов водоприемного сооружения позволят снизить динамическое воздействие на конструкцию водоприемного сооружения и, тем самым, повысить надежность работы водопроводящего тракта.
2. Исследования показали, что в пазах для затворов водоприемного устройства русловой ГЭС, характерной особенностью которого является сужение сечения потока только сверху, образуется спиралевидное движение водного потока, направленное сверху вниз. Такое движение потока опасно из-за возможного увлечения вихревым потоком мелкого сора и осаждения его в нижней части паза. Скопление такого сора в нижней части паза может привести к зависанию (заклиниванию) затвора при его опускании в аварийной ситуации.
3. Для сохранения высокой надежности работы русловой ГЭС и ее водоприемного устройства рекомендуется выполнять регулярные обследования нижней зоны пазов на предмет своевременного обнаружения скопления осажденного сора и его удаления.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Евдокимов С.В. Проблемы безопасности строительства энергетических установок, аккумулирующих нетрадиционные (возобновляемые) источники энергии. Градостроительство и архитектура 2 (2012). С. 68-74.
2. Васильев Ю.С., Кубышкин Л.И. О технологии проектирования объектов гидроэнергетики. Гидротехническое строительство 7 (2014). С. 2-8.
3. Balzannikov M.I., Alpatov V.Yu., Kholopov I.S., Saharov A., Lukin A., Usage of spatial lattice metal structures as roofing for mechanical equipment rooms of hydroelectric power stations // MATEC Web of Conferences 73 (2016). Pp. 01012.
4. Романов А.А., Жигулевская ГЭС. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Самара: Издательский дом «Агни». 2010. 360 с.
5. Романов А.А., Евдокимов С.В., Селиверстов В.А., Исследование колебаний здания Жигулевской гидроэлектростанции. Промышленное и гражданское строительство 6 (2015). С. 44-48.
6. Свитала Ф., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М., Особенности конструкций гидротехнических сооружений и агрегатных зданий первых гидроэлектростанций. Промышленное и гражданское строительство 12 (2014). С. 87-90.
7. Свитала Ф., Галицкова Ю.М., Использование гидравлических энергоагрегатов с наклонной осью для малых ГЭС. Научное обозрение 10 (2014). С. 450-456.
8. Balzannikov M.I., The use of low-head waterpower developments in making cargo passages through lowland rivers. Procedia Engineering 111 (2015). Pp. 65-71.
9. Попов В.П., Михасек А.А., Селиверстов В.А., Влияние геометрических характеристик входного участка водопропускного устройства гидротехнического сооружения на гидравлические параметры потока. Вестник КГУСТА 1 (2014). С. 73-79.
10. Козинец Л.Г., Потехин Л.П., Численная оценка прочностной надежности высоконапорных водоводов при гидравлическом ударе. Инженерно-строительный журнал 6 (2012). С. 29-35.
11. Фортов В.И., Федоров М.П., Елистратов В.В., Научно-технические проблемы гидроэнергетики после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. Вестник Российской академии наук 7 (2011). С. 579-586.
12. Balzannikov M.I., Seliverstov V.A., Characteristics of Substantiation of Water-Intake Parameters at WSPF as Component Parts of the Power Complex. Power Technology and Engineering 49, No 1 (2015), Pp. 22-26.

13. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Гидроэнергетические установки. Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. Санкт-Петербург, 2011.
14. Селивёрстов В.А., Результаты исследований водоприемного устройства гидроэнергетической установки с использованием программы «ANSYS». Научно-технические ведомости СПбГПУ 4-2 (2009). С. 149-153.

Об авторах (about authors):

**Бальзанников М.И., Малюгин Н.Ю.**

Самарский государственный экономический университет, Россия, 443090,  
Самара, ул. Советской Армии, 141

**Balzannikov M I. Maljugin N J**

(Samara State University of Economics, Samara, 141 Sovetskoi Armii St., 443090,  
Samara, Russia)

**USE OF FREELY ROLLING ENERGY  
WATER FLOWING FOR RENEWABLE ENERGY  
PRODUCTION IN POLAND**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ СВОБОДНЫХ  
ПОТОКОВ ВОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗБНОВЛЯЕМОЙ  
ЭНЕРГИИ В ПОЛЬШЕ**

**Switala Franciszek M.  
Свитала Ф.М.**

*Pracownia Inżynierii Sanitarnej  
Wydział Zamiejscowy Prawa i Nauk o Społeczeństwie w Stalowej Woli  
Katolicki Uniwersytet Lubelski,  
Самарский Государственный Технический Университет  
кафедра Природоохранного и гидротехнического строительства*

**Streszczenie**

*W artykule przedstawiana jest możliwość wykorzystania energii swobodnie płynącej wody w rzekach i kanałach do produkcji odnawialnej energii elektrycznej. Przedstawione są rodzaje proponowanych turbin i sposoby ich montażu. Wspomniana jest turbina opracowywana w Katolickim Uniwersytecie Lubelskim.*

**Słowa kluczowe:** *rzeka, nurt, turbina energia odnawialna*

**Резюме**

*В статье представлена возможность использования энергии бесплатной проточной воды в реках и каналах для производства возобновляемой электроэнергии. Представлены типы предлагаемых турбин и способы их сборки. Упоминается турбина, разработанная в Люблинском католическом университете.*

**Ключевые слова:** *река, течение, турбина возобновляемой энергии*

**Summary**

*The article presents the possibility of using the energy of free flowing water in rivers and canals to produce renewable electricity. Types of proposed turbines and ways of their assembly are presented. The turbine developed at the Catholic University of Lublin is mentioned.*

**Keywords:** *river, current, turbine renewable energy*

Pojęcie odnawialnych źródeł energii jest szerokie, ale nie używa się w Polsce prawidłowej klasyfikacji odnawialnych źródeł energii, ponieważ powinna być



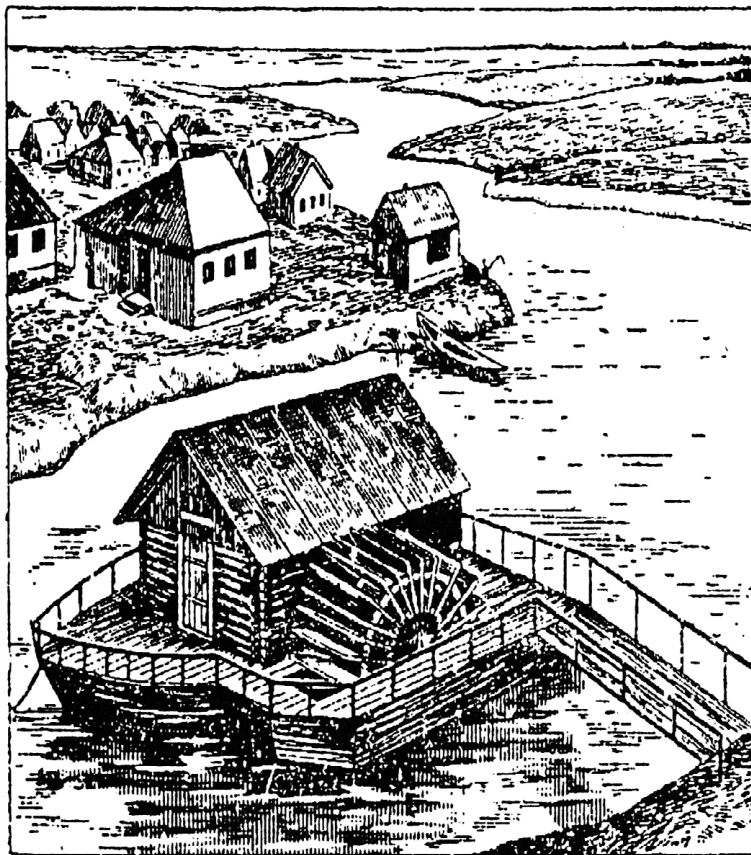
stosowana następująca klasyfikacja: podział na pierwotne odnawialne źródła energii do których zaliczamy wodę, słońce, wiatr i geotermię, oraz wtórne odnawialne źródła energii, do których zaliczamy te wszystkie do których, człowiek włożył swoją pracę takie jak: biomasa, biopaliwa, czy odzysk energii z procesów technologicznych (termoogniwa).

Błędne pojęcie powoduje, że niewłaściwe wykorzystanie pierwotnych odnawialnych źródeł energii, powoduje zmiany klimatu, i wymaga dużych nakładów na zapobieganie katastrofom pogodowym. Przykładem, niech będzie wykorzystywanie energii wiatru, zwolennicy jego wykorzystania twierdzą że tylko zysk, bo mamy energię uzyskaną z niego, ale analiza zmniejszenia energii przemieszczania się powietrza powoduje, że stabilne wcześniej warunki termiczne są naruszane, w stosunku do tych jakie istniały na kuli ziemskiej od tysięcy lat.

Rozpatrując powszechne obecnie wykorzystanie ogniw fotowoltaicznych, na terenach pustynnych, jak również terenach o słabych rolniczo glebach, gdzie zabudowuje się wielkie powierzchnie, nie dopuszczając do akumulacji ciepła słonecznego w skorupie ziemskiej. Zmienia się wtedy, układ termodynamiczny na określonych powierzchniach, o czym mogą powiedzieć szybownicy, korzystający przy wznoszeniu się z tzw kominów termicznych, a to wpływa to również na układ termodynamiczny dookoła kuli ziemskiej. Wykorzystanie energii słonecznej, do uzyskiwania energii elektrycznej ma jak największy sens, przy zabudowie istniejących powierzchni dachów, jak również powierzchni ścian budynków, co nie wpływa w tak znaczącym stopniu na deformację układu termodynamicznego kuli ziemskiej.

Powrócić należy jednak do energii zawartej w wodzie, krążącej w obiegu niezależnie od człowieka, a za przyczyną słońca. Energię wody czyli „biały węgiel” zazwyczaj wykorzystuje się poprzez budowę piętrzeń, gdzie zgodnie z zasadą hydroenergetyki uzyskuje się piętrzenie i spad, a spadająca woda zgodnie ze wzorem

$N = 9,81 \times Q \times h \times \eta$  gdzie  $Q$ - przepływ wody w  $m^3/s$ , a  $h$ - spad w m.  $\eta$ -sprawność przetwarzania pozwala uzyskać odpowiednią moc energii elektrycznej. Warunki, gdzie można takie piętrzenia na rzekach realizować są ograniczone, ponieważ, zalewaniu ulegają znaczne powierzchnie ziemi, podtapianie (podwyższanie poziomu wód gruntowych) ,a ekolodzy blokują takie inwestycje. Analizując wodę przemieszczającą się w korytach rzek, jej siłę którą wykorzystuje się od wieków, poprzez spławianie drewna, transportu, i do napędu młynów, czego przykładem jest pływający młyn na Rys.1. a że jest to możliwe również obecnie, to przykładem niech będzie, zrekonstruowany pływający młyn bździel w Muzeum Wsi Kieleckiej Rys. 2.



d)

Rys.1. Rycina starego młyna pływającego [2]

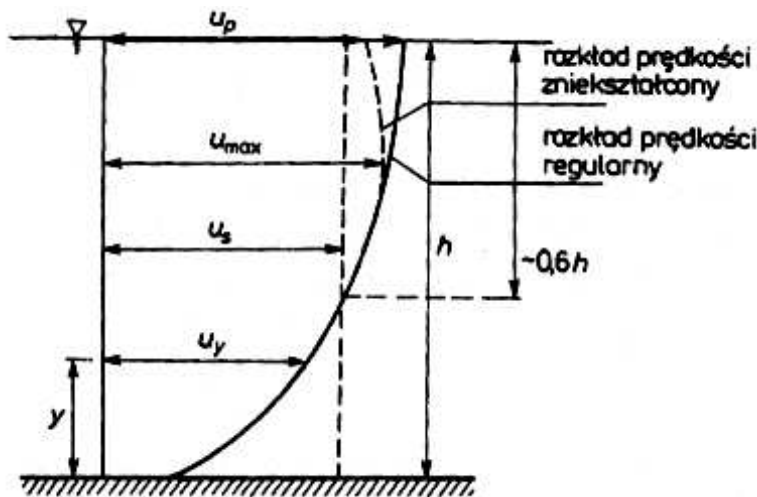


Rys. 2. Zrekonstruowany pływający młyn wodny

Woda płynąca w korycie rzeki, jest to również określona, ale znacznie rozproszona energia (analogicznie do energii słonecznej), którą również można wykorzystać do celów energetycznych. Energia płynących wód nie jest uwzględniana w bilansie zasobów hydroenergetycznych Polski i świata.

Prędkość wody w korycie rzeki, kształtuje się pod wpływem różnych czynników: zwierciadła wody, głębokości, oporów ruchu, kształtu, wymiaru przekroju poprzecznego ruchu rumowiska, zarastania koryta itd. Struktura strumienia wody wymaga określenia jej prędkości w przekroju poprzecznym, w pionie jak również w poziomie nurtu rzeki.

Charakterystykę prędkości wody w wybranym przekroju, można przedstawić w postaci wykresu, który jest kształtowany głównie przez opory dna, uzależnione od materiału dennego, oraz ukształtowania terenu, chropowatości, które stanowią dodatkowy czynnik oporu ruchu i wpływają na deformacje rozkładu prędkości w pionie. Na charakterystykę prędkości ma wpływ również tarcie międzycząsteczkowe, a także zjawiska lodowe, zarastanie, wiatr itp. Rozkład prędkości za [1] można przedstawić za pomocą następującej krzywej rys. 1.

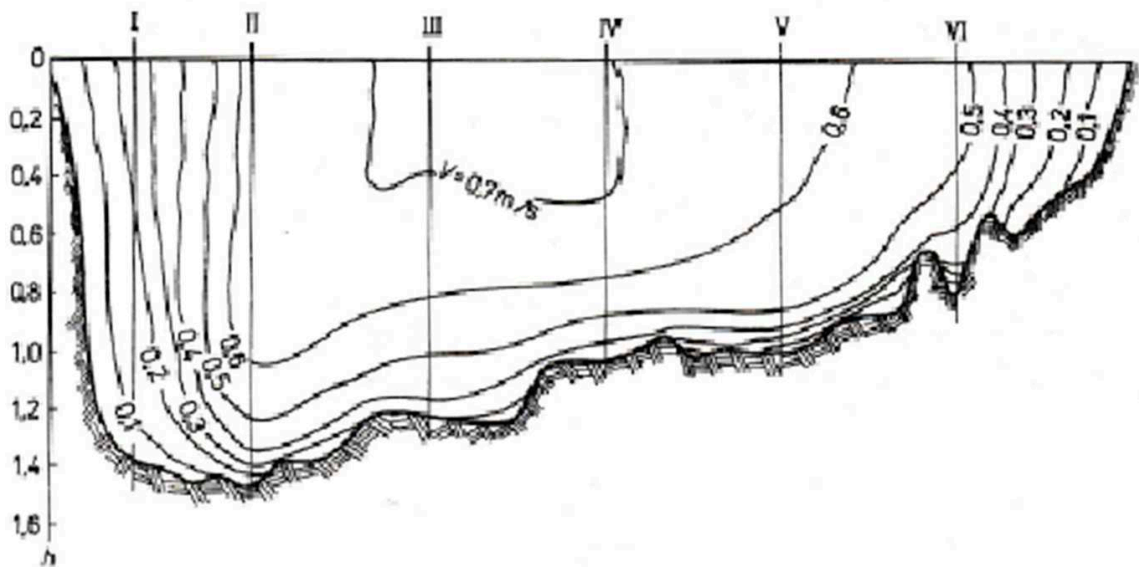


Rys. 3. Rozkład prędkości w przekroju rzeki. [1]

gdzie:  $u_p$  - prędkość z jaką poruszają się powierzchniowe cząstki wody w przekroju:

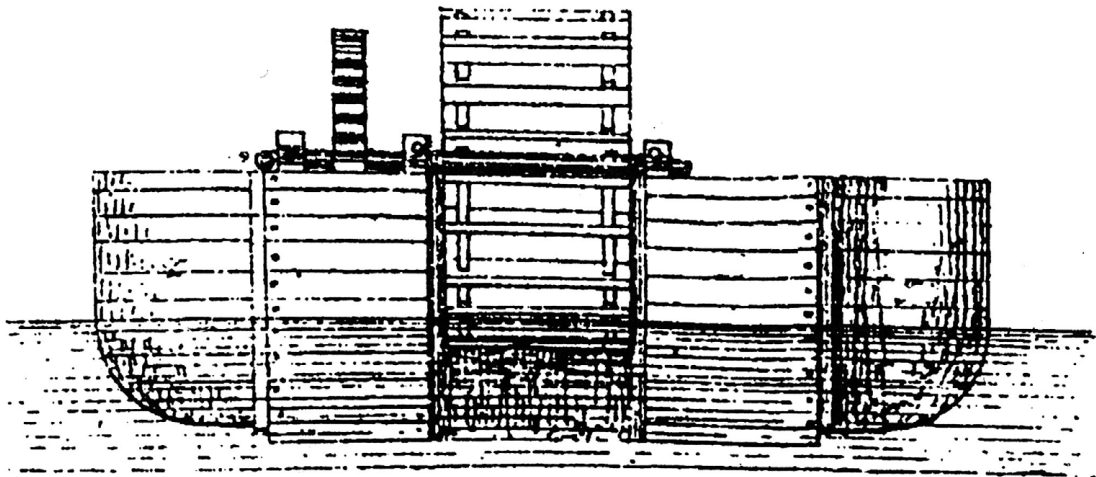
- $u_{max}$  - największa prędkość w pionie
- $u_s$  - prędkość obliczona dla całego pionu
- $u_d$  - prędkość denna

W zależności od kształtu koryta rzeki, zmienia się również przestrzenny rozkład prędkości, który uzależniony jest od oddziaływania szorstkości dna, oraz brzegów. W korytach szerokich oddziaływanie szorstkości brzegów występuje jedynie w okolicy przybrzeżnej o prędkości nurtu decyduje głównie szorstkość dna. W rzekach o korytach wąskich, największy wpływ na prędkość wody ma szorstkość brzegów. Przyjmuje się, że oddziaływanie brzegu sięga na odległość 2-3 głębokości wody, a w korytach zwartych szorstkowatość brzegów ma znaczny wpływ na rozkład prędkości co przedstawia Rys. 3



Rys. 4 Przykładowe zmiany prędkości przepływu w przekroju rzeki. [1]

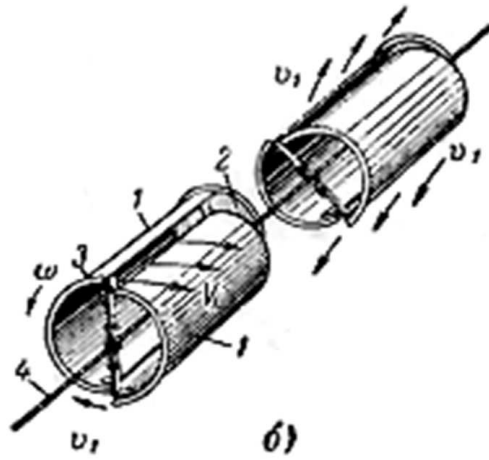
Wykorzystanie prędkości nurtu rzeki, możliwe było dzięki konstrukcji przedstawionej na Rys. 5 ,gdzie zakotwiczone łodzie w szybkim nurcie rzeki, pomiędzy którymi znajdowało się koło napędzające żarna.



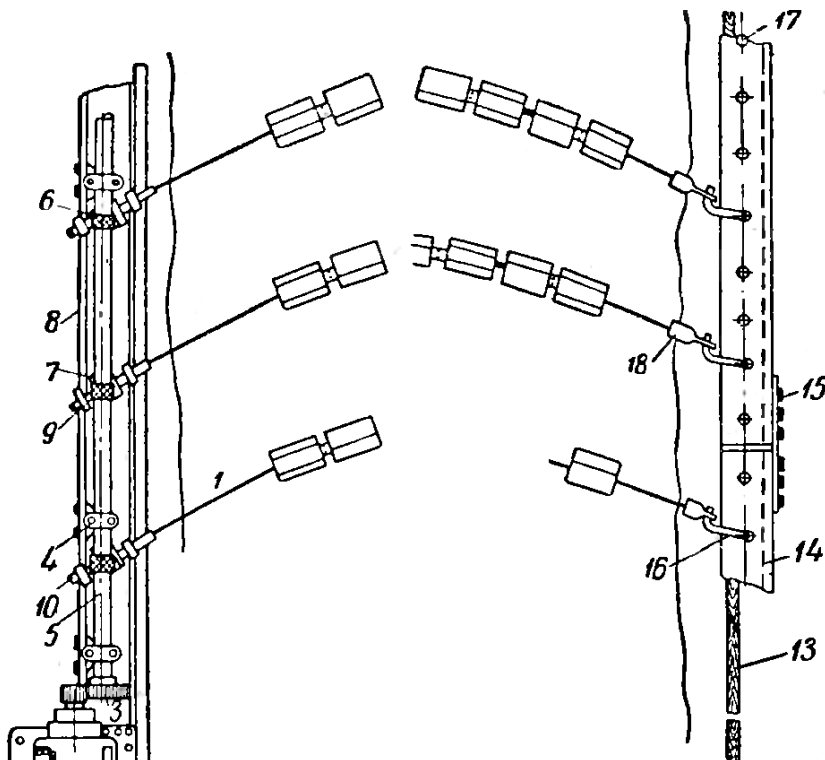
Rys. 5. Młyn rzeczny zakotwiczony. [2]

W początkach XX wieku, nie zapomniano o możliwościach wykorzystania energii nurtu rzeki i w latach trzydziestych ubiegłego wieku, takie konstrukcje pojawiły się w Rosji a udoskonalane były w ZSRR w latach 50 tych.

Konstrukcję łańcuchowej małej elektrowni wodnej zaproponował B.C. Blinov [ ], który zaproponował wykorzystanie elementów pół walców, Rys. 6. połączenie ich łańcuchem zamocowanym do brzegu rzeki jak przedstawia Rys. 7.



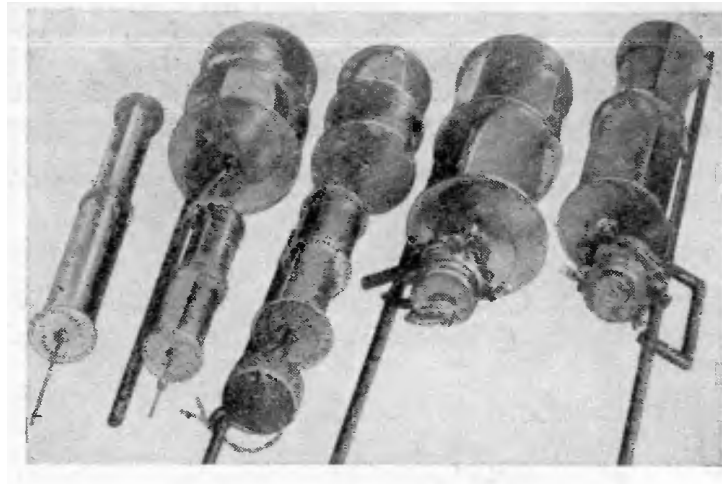
Rys. 6. Półwalce na wspólnej osi. [ 3 ]



Rys. 7. Elektrownia łańcuchowa o mocy 5 kW [ 3 ]

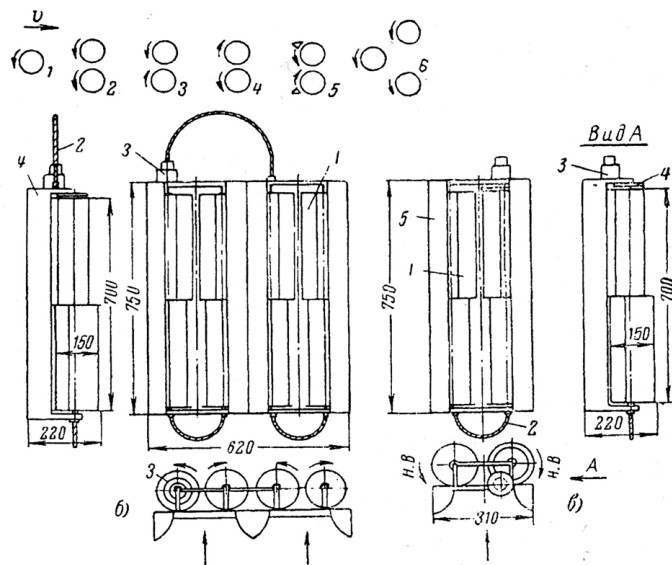
Autor wykonał i przebadał prototypy w latach 40-tych, kiedy moment napędowy należało przekazywać do generatora mechanicznie. Innym rozwiązaniem zaproponowanym było wykonanie pionowych osi, pograżanych w dno rzeki

i również przekazywanie momentu mechanicznego do generatora jak przedstawia rys. 8.

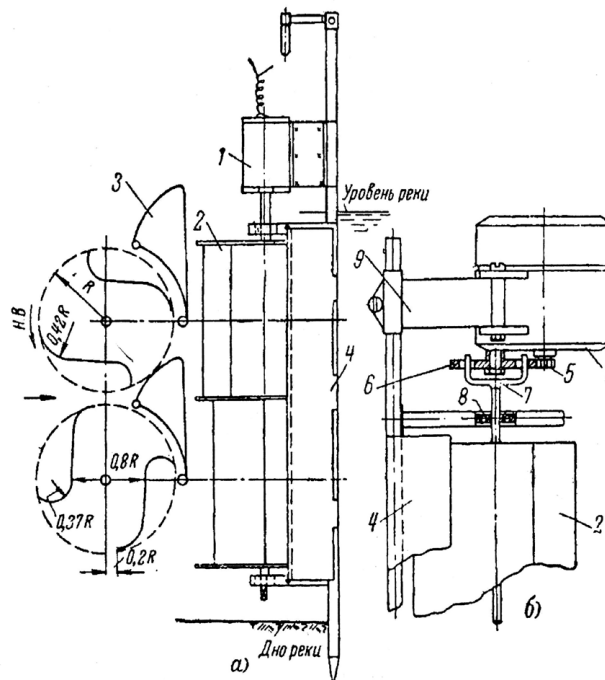


Rys. 8. Modele turbin wykorzystujące energie kinetyczną płynącej wody.[3 ]

Turbiny te mogły być instalowane w następujący sposób jak przedstawiono na Rys. 9

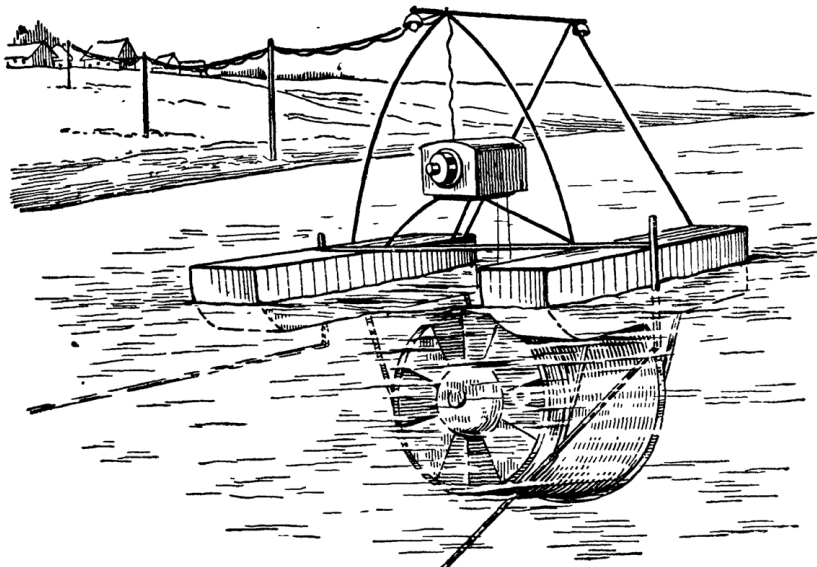


Rys. 9. Warianty kompletacji turbin ustawianych pionowo [3].  
a rysunek konstrukcyjny pojedynczego elementu przedstawia Rys. 10



Rys. 10. Konstrukcja pionowa [3]

Były rozpatrywane i inne konstrukcje turbin, wykorzystujących energię kinetyczną płynącej wody, Kostin [ ] zaproponował analogicznie jak w młynie pływającym lecz zastąpienie koła klasyczną turbiną śmigłową jak przedstawia Rys. 11.



Rys. 11. Konstrukcja małej elektrowni Kostina [4].

Analizując dotychczasowe konstrukcje należy zwrócić uwagę że kiedy były one wykonane, jako generator zamieniający energie mechaniczną na elektryczną wykorzystywano prądnice prądu stałego, lub zmiennego z zastosowaniem przekładni gdzie następowały znaczne straty mocy.

Na początku 2014 roku zaproponowana została konstrukcja którą można umieścić na dnie rzeki i wykorzystywać energię kinetyczną nurtu co przedstawia Rys. 12



Rys. 12. Konstrukcja małej elektrowni wodnej pogrążanej w nurcie rzeki przy dnie, o mocy 1,3 kW. [7]

Szerokość tego agregatu sięga 3,45 m, długość 1,7 m, ale wykorzystywano tutaj dla osiągnięcia tych parametrów standardową prądnicę od samochodu, sprzęgło i przekładnię samochodową.

Analizując te konstrukcje w Pracowni Inżynierii Sanitarnej Wydziału Zamiejscowego Prawa i Nauk o Społeczeństwie, w Stalowej Woli, Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego, prowadzi się prace dla wykorzystania tych konstrukcji w warunkach polskich. Jako źródło energii elektrycznej planowane jest wykorzystanie prądnic z magnesami trwałymi. Turbiny tego typu, analogicznie jak ogniwa fotowoltaniczne wykorzystujące rozproszoną energię słoneczną pozwolą na wykorzystanie energii kinetycznej płynących rzek, bez budowy zapór i jazów.

### Bibliografia:

1. В.В. Волшанник, Г.В. Орехов Низконапорные гидравлические двигатели МГСУ Москва 2009.стр 392.
2. Изобретение SU 1645596
3. Б.С. Блинов Свободноточная торцовая турбина. Свидетельство 132135
4. Б.С. Блинову Гиранная ГЭС. Госэнергоиздат 1963 стр.63



5. Б.Б. Кажинский Простейшая гидроэлектростанция Издательство ДОСРАМ Москва 1960 стр.55
6. Б.Б.Кижинский Свободнопроточные гидроэлектростанции малой мощности. Государственное Энергетическое Издательство.Москва 1950, стр.70
7. В.Н. Гетманов, В.В. Блинов, Н.Ф. Гончаров и др. Бесплотинные ГЭС как источники энергообеспечения отдельных потребителей. УДК 621.22.01

Об авторах (about authors):

**Свитала Францишек Марян**

к.т.н. инж, профессор кафедры природоохранного и гидротехнического строительства АСА СамГТУ.  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: [Franciszek.switala@gmail.com](mailto:Franciszek.switala@gmail.com)

**Switala Franciszek M.**

PhD inz in Technological Sciences, professor, head of the department of nature protection and hydrotechnical construction ASA SamGTU.  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244  
E-mail: [franciszek.switala@gmail.com](mailto:franciszek.switala@gmail.com)

## PROBLEMS OF CALIBRATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM HYDRAULIC MODEL

## ПРОБЛЕМЫ КАЛИБРОВКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

**Hołota Ewa**

**Холога Ева**

*Institute of Environmental Engineering, Off-Campus Faculty of Law and Social Sciences in  
Stalowa Wola*

Hydraulic models of water distribution systems enable real flow simulation of water supply systems in varying hydraulic conditions. For these models to work properly accurate calibration and verification of the results are required. Calibration is connected with carrying out of exploitation tests. The methods and scope of field measurements and the location of measuring points depend on, among others, the structure, topology and extent of the system and on the hydraulic conditions in the water supply system, thus they must be determined individually for each water supply system.

This paper presents the main problems that occur during calibration and validation of dynamic hydraulic model of water supply system. It shows the results of the hydraulic model calibration created for one zone of real water supply system. This calibrated model will be the basis for creating a model of chlorine decay in the water supply system.

*keywords: calibration, hydraulic model, water supply system*

### INTRODUCTION

Exploitation of water supply system is very labor-intensive and costly. It involves the necessity of continuous monitoring of network to provide customers with water of proper quality, in the right quantity and at appropriate pressure. Therefore, in each water utility company it is useful to reproduce the structure of water supply network with descriptive data. This can be achieved by implementing a dynamic hydraulic model of the network, which allows to simulate the operation of water supply network. These simulations are carried out on the basis of a computer model and a set of given parameters. They result in flow rate and velocity in different sections of the network and pressure at the nodes. After the implementation of the qualitative module the result of the simulation can also be concentrations of the physical and chemical indicators (Kwietniewski M., 2004).

Hydraulic models enable simulation of the operation of a water supply system in real conditions as well as in failures, caused by, among others, an occurrence of unforeseen damage (Studziński A., Kobilarz J., 2014), or by a catastrophic event such as flood or earthquake (Wang Y., Siu-Kui A., 2009).

Hydraulic models are also used (Siwoń Z., Cieżak W., 2008):

- to investigate the network operating parameters in changing operating conditions (static and dynamic);
- to analyse, evaluate and track real operating parameters of network (flow, velocity, pressure);
- to detect and analyse errors and irregularities in the functioning of network;
- to plan modernization of an existing network, including assessment of the impact of new elements on the work of network;
- to change the way of operating of a network and water supply facilities, including flow control, pressure distribution and water retention in a network in order to improve pressure conditions and to minimize operating costs;
- to find places in the water supply network with a phenomenon of water stagnation;
- to programme scenarios of efficient flushing of water supply network sections;
- to plan network monitoring;
- to assess water age and water quality in water supply network.

Model calibration is the process of improving and perfecting the model to determine such input data (model parameters) as to be able to obtain compatibility between the values measured on a real object and the results of computations obtained on the basis of the model, at a specified level of accuracy (Bhave P. R., 1988, Boulos P. F., Ormsbee L. E., 1991, Cesario L., 1995, Siwoń Z., 1997, Siwoń Z., Cieżak J., 1998, Siwoń Z., 2005, Kubik M., 2004, Alves L. et al., 2014). Walski (Walski T. M. et al., 2003) defined calibration as “the process of comparing model results with field measurements in order to correct, if necessary, the data describing the system until the predicted behavior agrees, within error limits, with the behavior observed in reality for a wide range of working conditions.”

Savic (Savic D. A. et al., 2009) classified calibration methods depending on their dynamics as: static methods and transient methods, and depending on optimization technique as:

- iterative methods, based on trial-and-error procedures (Walski T. M., 1983, Walski T. M. et al., 1987, Bhave P. R., 1988, Ormsbee L. E., Wood D. J., 1986),
- direct methods (explicit), which are based on the solution of the extended set of equations including (Ormsbee L. E., Wood D. J., 1986, Boulos P. F., Wood D. J., 1990, Ferreri G. B., Napoli E., Tumbiolo A., 1994),
- indirect methods (implicit), which are developed and solved by applying

the optimization technique combined with a hydraulic model (Ormsbee L. E., 1989, Lansley K. E., Basnet C., 1991, Savic D. A. et al., 1995, Datta R., Sridharan K., 1994, Reddy P. et al. 1996, Walters G. et al. 1998).

The calibration of the model, according to Siwoń (Siwoń Z., Cieżak W., 1998), should be carried out in four stages. The first step is a preliminary approximation of calibrated parameter values enabling to initiate the calibration process. In the next stage field measurements should be made and sets of variables established which will control the process of calibrating. Then, the calibration of the model parameters in steady-state conditions, taking into account various operating situations occurring while making field measurements, should be carried out. In the last stage the calibration should be carried out basing on an analysis of the operation of the system in daily time interval.

Knapik (Knapik K., 2000) claims that the basis for calibration of hydraulic model of the water supply network is, in the first stage, water demand calibration, which requires that the water demand of nodes should be compared with the corresponding values characterizing the actual state of water consumption. The second step is to determine flow resistance for individual pipelines. The accuracy of data obtained depends on the number of measurements made on a real water supply network. In this process not only local losses but also equivalent roughness values are defined. For the calibration of the model historical data should be used, which will enable the mapping of the system in particular situations.

This paper presents the main problems that occur during the calibration and validation of a dynamic hydraulic model of water supply system. It shows the results of the hydraulic model calibration created for one zone of real water supply system. This calibrated model will be the basis for creating a model of chlorine decay in the water supply system.

## DESCRIPTION OF THE RESEARCH OBJECT

The studies were conducted in a selected part of an real water supply network, supplying water to approximately 86 000 residents. The length of the water supply network in this area equals 233.57 km, whereas the length of water supply service line is 122.96 km. The water supply pipes operate in a mixed - looped and branched system. The network consists of pipes made of steel, grey cast iron, ductile cast iron, PVC, PE-HD and asbestos cement. Two water supply stations, i.e. "DZ" and "ZDZ" are found in the considered area. The annual water consumption for the "DZ" and "ZDZ" stations amounts to 3 493 050 m<sup>3</sup> and 2 223 945 m<sup>3</sup>, respectively. Figure 1 presents the scheme of the considered water supply area with marked location of water supply stations, pressure and flow rate measurement points. The water supply system also comprises water storage tanks. There are two water tanks with the volume of 3 860 m<sup>3</sup> on the premises of "DZ" station, whereas four tanks with the total volume of 20 000 m<sup>3</sup> are found in the "ZDZ" station. Water from the tanks is transmitted by means of the suction lines to the second-stage pumping station. The "DZ" second-stage pumping station is

equipped with 4 pumping units; the average daily capacity in 2017 reached 9570 m<sup>3</sup>/d under the pressure of  $p = 0.52 \div 0.55$  MPa. On the other hand, the “ZDZ” pumping station comprises three pumping units operating under the pressure of  $p = 0.21 \div 0.24$  MPa and the average daily capacity of about 6093 m<sup>3</sup>/d. The water in the considered area is subjected to constant disinfection performed by means of gaseous chlorine. The disinfection system is designed with the average hourly capacity  $Q = 600$  m<sup>3</sup>/h. The chlorine concentration is set as  $0.15 \div 0.25$  g/m<sup>3</sup>. Additionally, water is disinfected by means of UV radiation. The dose of chlorine in “ZDZ” station is adjusted to the current flux from the intake.

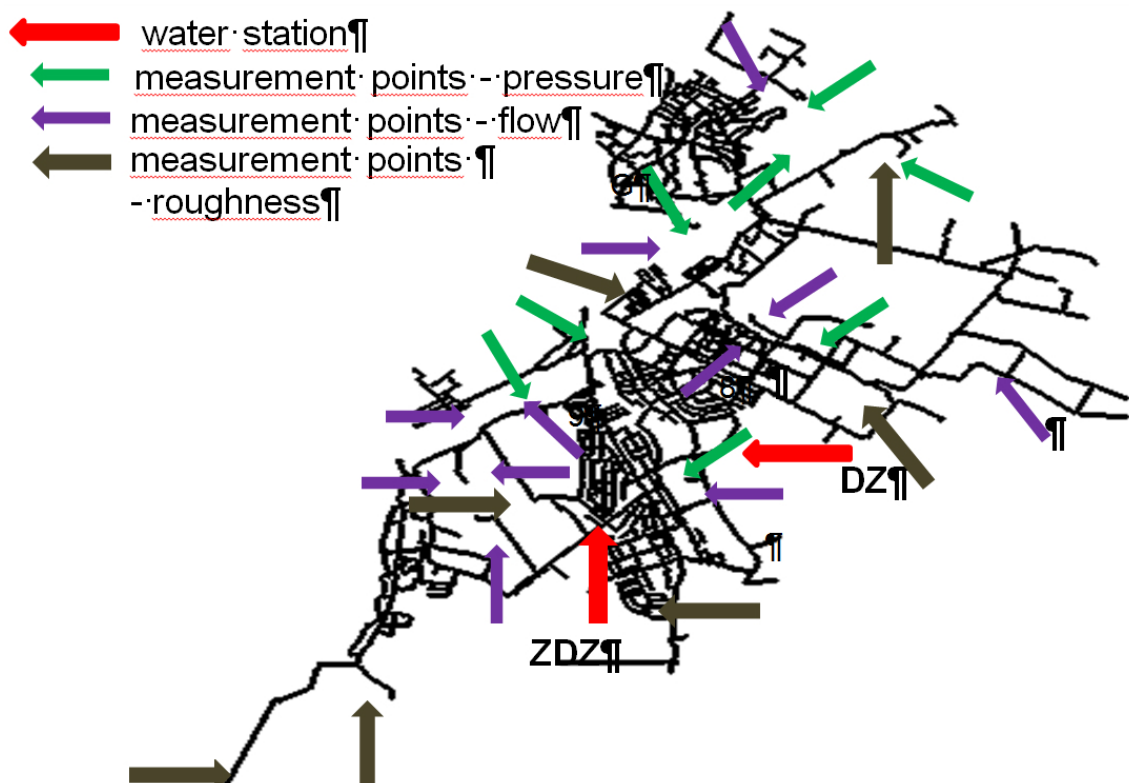


Fig 1. Location of DZ and ZDZ water intakes as well as pressure, flow rate and roughness measurement points

## RESEARCH METHODOLOGY

The collection of data necessary for the construction and calibration of the hydraulic model was connected with conducting field studies as well as model research. Important activity, essential in the process of calibration of hydraulic model, involves carrying out of complex field measurements. The type and scope of measurements and the number of measuring points must be determined individually for a specific water supply system and they are dependent, among other things, on: the structure, topology and extent of the tested system, hydraulic conditions in a water supply network, the number and location of water intakes, availability of personnel and equipment limitations (Siwoń Z., 2005).

**Filed research**

Pipe roughness

For the purpose of model calibration, 7 pipe roughness measurement points were selected in the water supply network (Fig. 1).

The pipe roughness is important for an oversized network, because frequently occurring low flow rates and the related slow water velocities cause sediments to accumulate and increase the hydraulic resistance of pipes. The study shows (Siwoń Z. et al., 1998, Siwoń Z., 1999, Siwoń Z. et al., 1999, Siwoń Z. et al., 2007, Hołota E. et al., 2013) that the pipe equivalent roughness coefficient values may change in a very wide range within a water supply system, and may differ from the values given in literature. For this reason, an examination of equivalent roughness coefficients should be made in the first stage of creating a flow model, as the field measurements programme properly prepared and carried out is a prerequisite to obtain reliable results of the tested network pipes. Table 1 shows the equivalent roughness coefficients calculated for one of the tested area of water supply network.

<b>diameter [mm]</b>	Ø150	Ø100	Ø150	Ø110x10	Ø110x6,1	Ø150	Ø150
<b>material</b>	ac	ac	żeliwo	PE	PVC	brak danych	<b>brak danych</b>
<b>k [mm] calculated</b>	<b>2,6440</b>	<b>0,0316</b>	<b>2,6647</b>	<b>0,3804</b>	<b>0,0316</b>	<b>4,9486</b>	<b>15,3488</b>
<b>k [mm] according to PN-76/M34034</b>	0,05-0,1 new 0,6 exploited	0,05-0,1 new 0,6 exploited	0,1-1,0 new 1- 4 exploited	0,01 new 0,05-0,1 exploited	0,01 new 0,05-0,1 exploited		

Table 1. Equivalent roughness coefficients calculated according to the formula of Colebrook-White

Pressure

The measurement results were provided by the water supply company. There are eight monitoring points in the tested zone (Figure 1). It was assumed that the number of places was sufficient to carry out calibration of the hydraulic model.

Flow rate

For the model calibration, 11 locations of flow rate measurement points in the water supply network were selected (Figure 1). To determine the location of measurement points was difficult due to the limited availability of places. It was necessary to locate measurement points in existing water chambers, as a result of which the flowmeter was installed without maintaining correct distances of straight sections, for instance just behind the valve or at tee. The occurrence of additional local losses caused the measurement results to have greater error than the manufacturer had assumed. Small flow velocities in the water supply

network caused the meter to operate at detection limit and that is why larger measurement errors were possible. The measurements were performed with a mobile ultrasonic flowmeter Micronics PORTAFLOW 300 with accuracy  $\pm 2\%$ . The measurements were carried out continuously for 24 hours.

### PROBLEMS OCCURRING DURING MODEL CALIBRATION

The accuracy of the hydraulic models depends on the quality of input data, which are the main source of errors. One of the major errors concerns the incorrectly identified quantity of water consumption by individual customers (Bhave P. R., 1988). This applies to situations when in a water utility company there are no registration systems of water meter indications and no billing of customers for consumed water. Another major mistake that appears in entering data involves the wrongly assigned and poorly calibrated water demand patterns (Sanz G., Perez R., 2014). This is connected with the wrong classification of customers, and with a limited number of measurements from water meters. Due to an appropriate number of measurements we can get detailed information about the irregularities of water consumption by different types of users. Further errors appearing while entering data concern the incorrectly read lengths of pipes, which results from the application of large-scale maps. Such maps can also be a source of errors while entering data about the system topology, which, combined with lack of accurate network inventory, leads to entering erroneous diameters and even erroneous pipeline material (Siwoń Z., 1997, Siwoń Z., 2005).

Since 1990 our country has witnessed a decrease in production and water consumption. Its consequence is very slow water flow velocities during the normal operation of water supply network. This results in the inability to obtain sufficiently high hydraulic gradient between the measurement points which would ensure a sufficient accuracy of model calibration results. In the calibration process we should aim at having these pressure losses at least five times greater than the measuring pressure error (Siwoń Z., Cieżak W., 2008).

Oversized water supply networks are also a major issue for the calibration of hydraulic model. The need to ensure adequate amounts of water in case of fire, by maintaining an appropriate pipe diameter ( $D_{\min} = 100$  mm for ring network), causes insufficient network load. For this reason, carrying out of precise research requires forcing of water flow in order to obtain an appropriate flow rate in selected pipes. This can be achieved by a periodic shutdown of pump station or tanks and simultaneously closing appropriate valves on the network. It is also important to eliminate errors arising as a result of local resistance, caused e.g. by partially-closed valves, aeration of pipes or damaged fittings.

The results of model calibration may also be unsatisfactory due to an improper scope and program of field measurements, which includes an erroneous initial assessment of the hydraulic conditions in a water supply network (Siwoń Z., 2005). Another serious problem concerns the location of measurement points of water flow in the network. The errors made during those measurements are caused

by lack of access to the straight sections of the network. Those measurements are usually made in water-supply chambers, where there are valves and tees. These elements affect the accuracy of results because they create local losses and thereby distort velocity distribution in the pipeline.

It is an important criterion for the quality of the model calibration process to achieve an appropriate accuracy between the measured and the computed values of pressure and flow rates (Siwoń Z., Cieżak W., 2008). AWWA Engineering Computer Applications Committee (AWWA, 1999) recommends the following minimum compatibility criteria, i.e. differences between the measured and simulated values. For models allocated for designing and controlling of water supply system, these differences are:

- for the flow:  $\pm 5\%$  relative to the value measured,
- for the pressure:  $\pm 1.4$  m H<sub>2</sub>O relative to the value measured for 90% of readings.

For models used to prepare development plans and simulation of water quality in the network, these differences are:

- for the flow:  $\pm 10\%$  relative to the value measured for 100% of readings or  $\pm 2\%$  for 70% of readings,
- for pressure:  $\pm 3,4$  m H<sub>2</sub>O relative to the value measured for 100% of readings or  $\pm 2,0$  m H<sub>2</sub>O for 70% of readings.

From the above recommendations it follows that the higher the accuracy required in the network schematization in the model, the greater the need for a larger number of flow readings and at the same time for a smaller number of pressure measurement points. Both measured values must also meet the stricter compatibility criterion.

## RESULTS OF CALIBRATION CALCULATIONS

The calibration of the model was performed by using an iterative method, i.e. trial and error method, by changing pump control. The calibration process was carried out for a 24-hour time interval. The preliminary comparison of the measurement results with the results of simulation calculations was not satisfactory, so the model was subjected to further modifications in order to achieve more compatible results. The basis for the implementation of any changes in the model was an analysis of the condition of the existing water supply network as well as searching for the causes of discrepancies between the measurements and the calculation results. In the next stage the calibration was completed by changing pipe roughness.

The first main step was to obtain the best compatibility in DZ and ZDZ nodes, i.e. in the outlet of the pump station because these nodes were a decisive factor in pressure distribution and water flow in the network. This is a complex task, because the water intake performance during the week is very diversified, ranging from 3100 m<sup>3</sup>/d to 4330 m<sup>3</sup>/d for station ZDZ, which makes the difference of almost 30%. For station DZ this difference is smaller, ranging from



11940 m<sup>3</sup>/d to 12650 m<sup>3</sup>/d, i.e. about 10%. Both water intakes are located close to each other, whereby they have a significant impact on pressure distribution and water flow in the network, depending on the pressure required. Even a small change in pressure in one water intake leads to significant changes of flow in the water supply network. Another problem resulting in instability of water flow is a temporary supply of zone F with water from ZDZ and DZ intakes. This water supplying is not cyclical, there is no set schedule for intake operation in zone F, which makes it difficult to predict the moment when zone F operates independently, and when the water is supplied from the test zone.

Figure 2 presents a statistical summary of the performed pressure calibration. The correlation between the observed and computed mean values is statistically significant and very high (Fig. 2) - it is 99,7% for 168 pairs of variables. All measuring points do not exceed the upper limit of the permissible error specified by AWWA -  $\pm 3,4$  or  $\pm 2,0$  m H<sub>2</sub>O measured for 100% or 70% of readings.

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
D247	24	34.88	33.90	1.992	2.200
D307	24	37.92	38.26	1.524	1.850
D101	24	56.33	55.63	1.826	2.104
C168	24	52.96	53.64	2.042	2.475
D889	24	46.92	46.32	1.692	1.968
D990	24	56.63	55.64	1.843	2.135
D168	24	37.21	35.92	2.090	2.421
D58	24	59.17	58.35	1.787	2.087
Network	192	47.75	47.21	1.849	2.164

Correlation Between Means: 0.998

Fig. 2. Statistical report on calibration - pressure

Given in the table:

- *Mean Absolute Error (MAE)* calculated according to the formula:  
 $f_i$  - computed pressure value,  
 $y_i$  - observed pressure value,  
 $n$  - number of observations.
- *Root Mean Square Error (RMSE)* calculated according to the formula:

Figure 3 shows the correlation diagram for pressure. In the graph, points in specific colors show the compliance of the measured and simulated pressure values in given measurement periods.

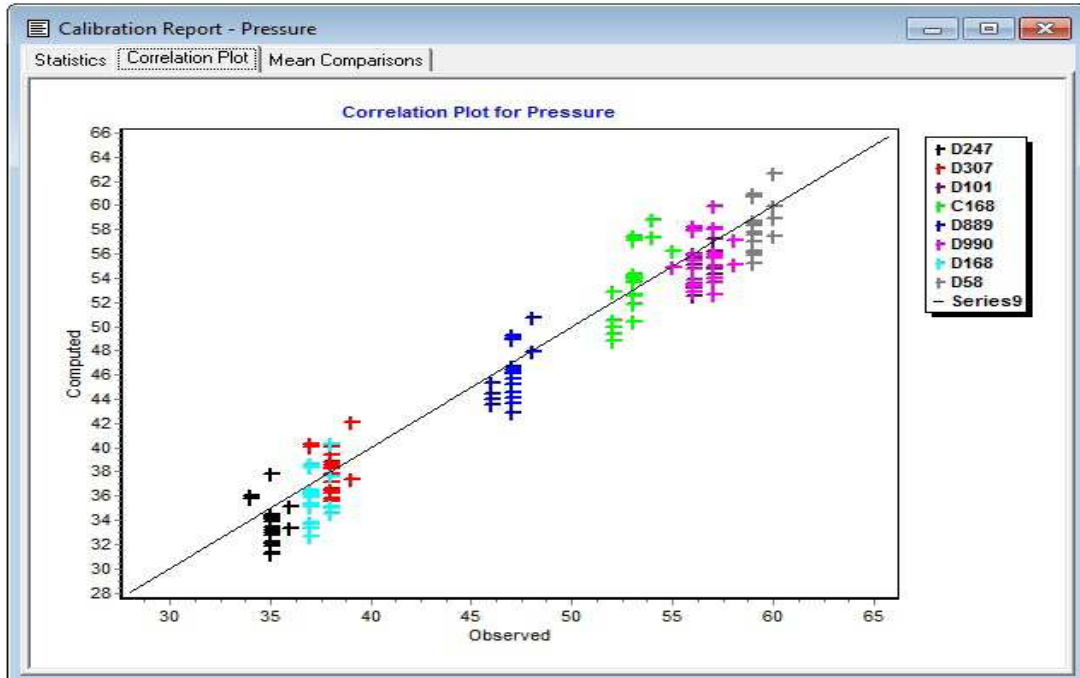


Fig. 3. Correlation plot between the computed and the observed pressure heads

A comparison of mean values at individual points is represented by bar graphs (Fig. 4). The red bars represent the mean value of the results of simulation calculations, whereas the squared green bars represent the mean value of the measurement results on the network at the respective sections. As can be seen from the above comparison, as well as from the preceding figures, the differences between these values are slight and it would be very difficult to further minimize them.

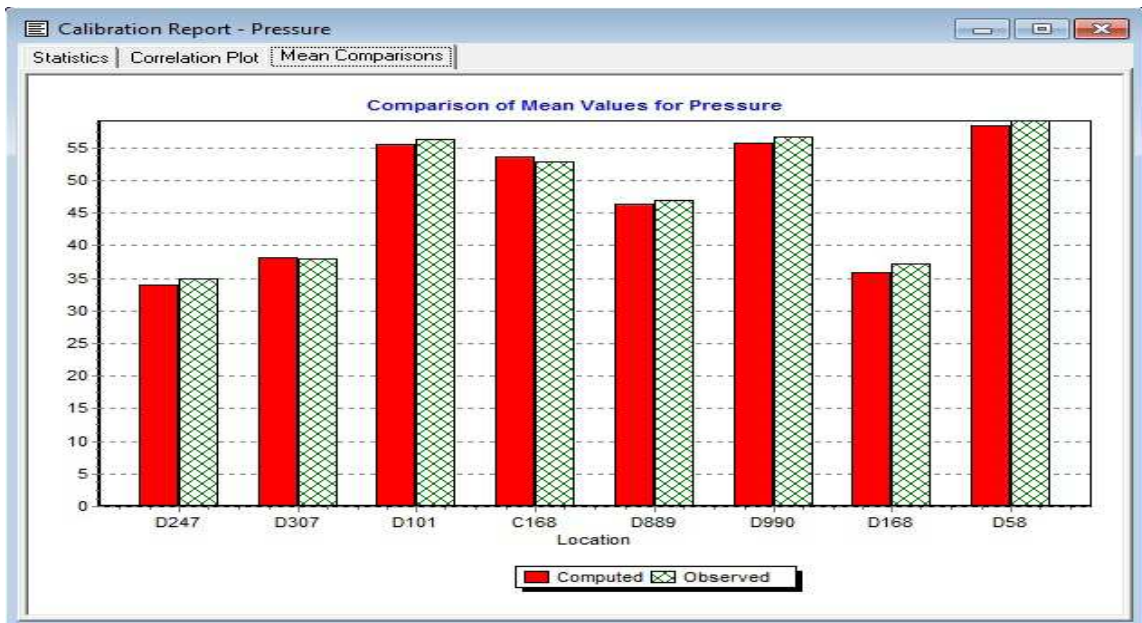


Fig. 4. Report on pressure calibration – comparison of the mean observed pressure values with the computed values at the individual measurement points

The results of calibration calculations presented in Fig. 5-7 show slight differences between the mean values observed and computed. Only in one case did these differences not exceed 2%. The correlation obtained between the considered mean values turned out to be statistically significant and amounted to 99,7 % for 264 measuring points.

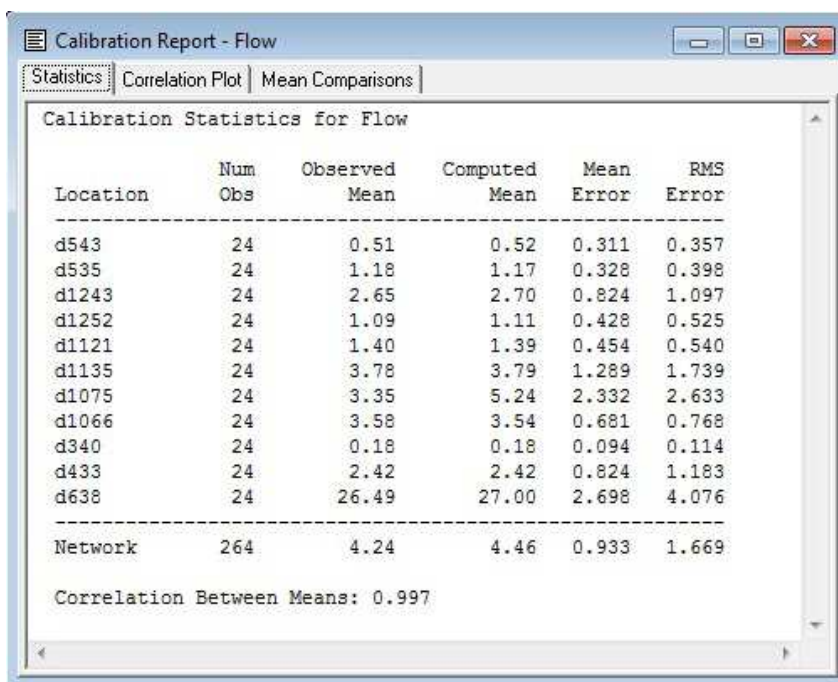


Fig. 5. Statistical report on calibration calculation – flow rate

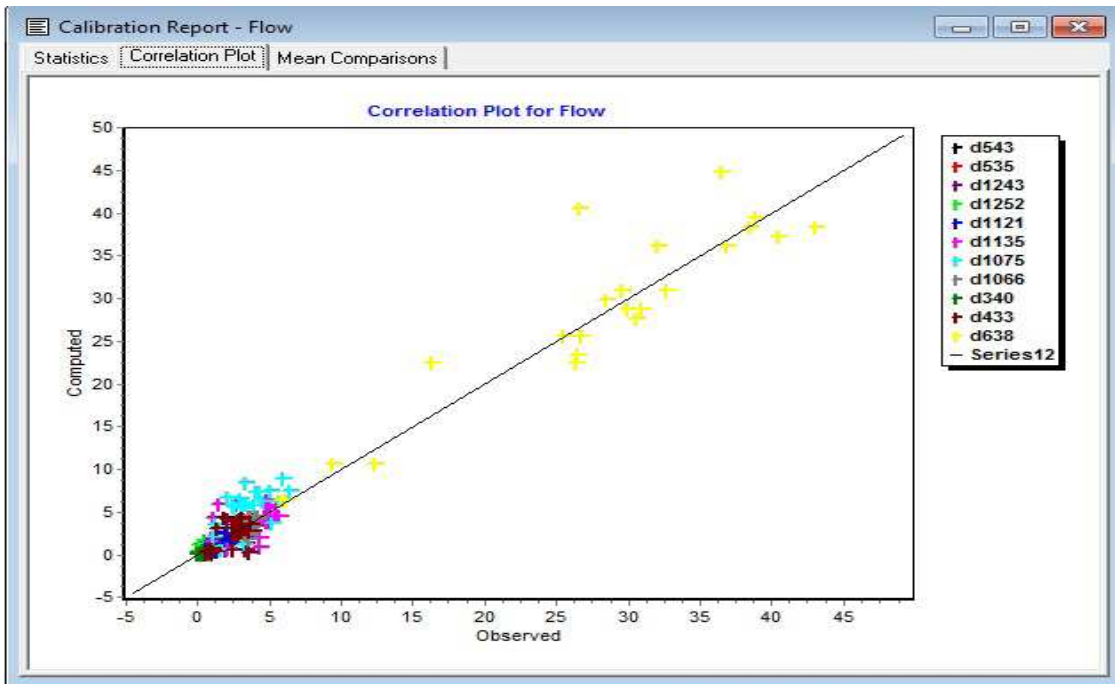


Fig. 6. Correlation plot between the computed and the observed water flow rates in the tested pipes



Fig. 7. Report on flow rate calibration – comparison of the mean observed flow values with the computed values at the individual measurement points

The comparison of the process of changes between the computed and the observed water flow rates in various nodes during the measurement period is shown in Fig. 8-10.

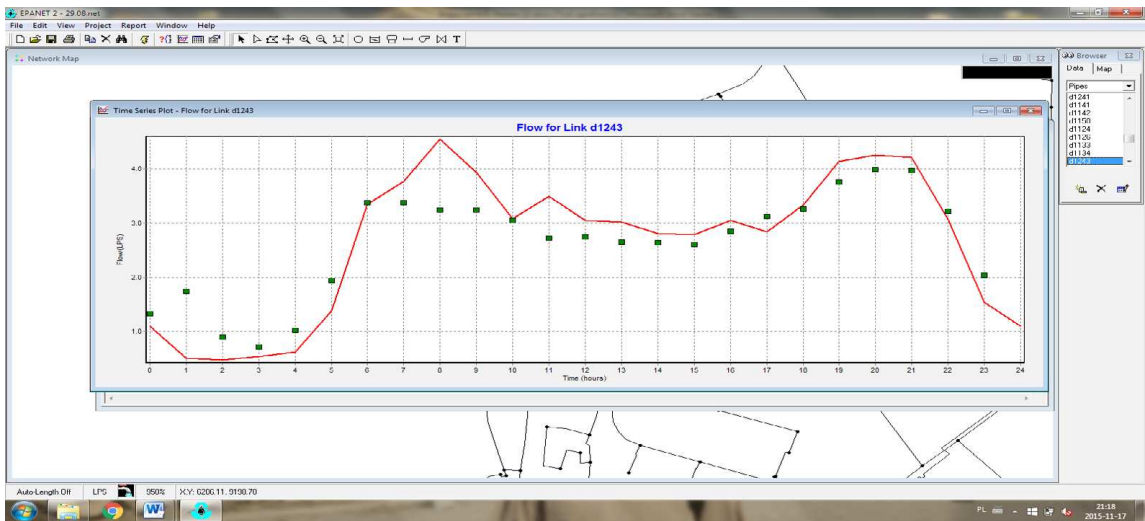


Fig. 8. The comparison of the process of changes in water flow rate, computed and observed, in pipeline d1243

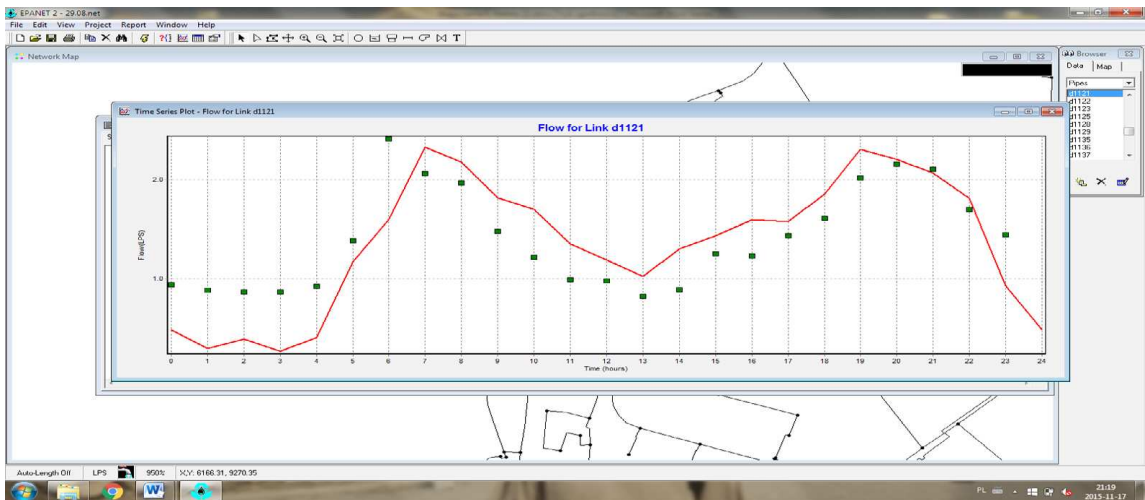


Fig. 9. The comparison of the process of changes in water flow rate, computed and observed, in pipeline d1121



Fig. 10. The comparison of the process of changes in water flow rate, computed and observed, in pipeline d638

## CONCLUSION

The above results of calibration calculations show that with the increasing distance from the source of water intake the differences in the course of changes of the observed and the computed values deepen.

Taking into account the results of calibration calculations of pressure heads and water flow rates, made for the numerical model of water supply network, we can conclude that:

- the requirements for accuracy of estimation of pressure head by the numerical model were fulfilled – in all measurement points the difference between the observed and the computed pressure does not exceed  $\pm 2$  m H<sub>2</sub>O,
- the requirements for accuracy of estimation of water flow rate by the numerical model were fulfilled - in 90 % of measurement points the difference between the observed and the computed water flow rate does not exceed  $\pm 2\%$ ,
- the numerical model developed and submitted to the process of calibration accurately reflects the real working conditions of the water supply system and thus can be used as a basis for developing a water quality model,
- the flow meters, due to oversizing, worked on the detection limit, hence greater errors were possible than those predicted by the producer,
- the flow meters were installed at the accessible points (in the chambers), without keeping a proper distance of undisturbed (straight) sections, e. g. just behind the valve, at tees - this also increased the calculation errors.

## REFERENCES:

1. AWWA Engineering Computer Applications Committee, 1999, Calibration Guidelines for water distribution system modeling. Reprinted from Proceedings of the 1999 AWWA Information Management and Technology Conference, New Orleans, Louisiana
2. Bhave P. R., 1988, Calibrating Water Distribution Network Models, *J. Environ. Eng.*, 114(1), p. 120–136
3. Boulos P. F., Ormsbee L. E., 1991, A comprehensive algorithm for network calibration, 18th Annual ASCE water-resources Conference, New York , p. 949 - 953
4. Boulos P. F., Wood D. J., 1990, Explicit Calculation of Pipe-Network Parameters, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116(11), 1329-1344.
5. Cesario L., 1995, Modeling, Analysis, and Design of Water Distribution Systems. American Water Works Association, Denver, USA.
6. Datta R., Sridharan K., 1994, Parameter Estimation in Water Distribution Systems by Least Squares, *Journal of Water Resources Planning and Management* 120, 405–422.
7. Ferreri G. B., Napoli E., Tumbiolo A., 1994, Calibration of Roughness in Water Distribution Networks, Proc. 2nd International Conference on Water Pipeline Systems, Edinburgh, UK, D. S. Miller, ed., vol. 1, 379-396.
8. Hołota E., Kowalska B., Kowalski D., 2013, Badanie współczynników chropowatości zastępczej wybranych rurociągów rzeczywistej sieci wodociągowej, *Instal* , nr 9.
9. Knapik K., 2000, Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych, Monografia 279, Kraków, Wyd. Politechniki Krakowskiej.
10. Kulbik M., 2004, Komputerowa symulacja i badania terenowe miejskich systemów wodociągowych, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk
11. Kwietniewski M., 2004, Elementy współczesnej eksploatacji systemów dystrybucji wody i odprowadzania ścieków, *Gaz, woda i technika sanitarna*, No10, p. 346-348.
12. Lansey K. E., Basnet C., 1991, Parameter Estimation for Water Distribution Networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 117(1).
13. Ormsbee L. E., 1989, Implicit Network Calibration, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 115(2), 243-257.
14. Ormsbee L. E., Wood, D.J., 1986, Explicit Pipe Network Calibration, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 112(2), p. 166-182.
15. Reddy P., Sridharan K., Rao P., 1996, WLS Method for Parameter Estimation in Water Distribution Networks, *Journal of Water Resources Planning and Management* 122, 157.
16. Sanz G., P´erez R., 2014, Demand pattern calibration in water distribution

- networks 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, *Procedia Engineering* 70, p. 1495 – 1504.
17. Savic D. A., Kapelan Z., Jonkergouw P., 2009, Quo Vadis water distribution model calibration? *Urban Water Journal* 6, p. 3–22.
  18. Savic D. A., Walters G., Knezevic J. ,1995, Optimal Opportunistic-Maintenance Policy Using Genetic Algorithms, 1: Formulation, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(2), 34-49.
  19. Siwoń Z., 1997, Wybrane problemy modelowania przepływów w układach dystrybucji wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, t. 71, nr 6, p. 218 – 222.
  20. Siwoń Z., 1999, Tarowanie parametrów modeli przepływów w systemach dystrybucji wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, t. 73, nr 2, p. 42 – 46.
  21. Siwoń Z., 2005, Symulacyjne modele przepływów w systemach dystrybucji wody - problemy kalibracji i weryfikacji modeli. GIS modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi. Materiały konferencyjne. Warszawa: Wydawnictwo PZITS, p. 157-183.
  22. Siwoń Z., Cieżak J., 1998, Model przepływów w systemie dystrybucji wody na terenie Polanicy Zdroju. *Ochrona Środowiska* 1998, Vol. 69 nr 2, p. 7 – 10.
  23. Siwoń Z., Cieżak J., 1999, Analiza hydraulicznej sprawności systemu dystrybucji wody w Jeleniogórskim Zespole Miejskim. *Ochrona środowiska* 1999, Vol. 72, nr 1.
  24. Siwoń Z., Cieżak J., Bogaczewicz D., 1998, Analiza procesu hydraulicznego starzenia się żeliwnych i stalowych przewodów sieci wodociągowej we Wrocławiu. *Ochrona środowiska* 1998, Vol. 71, nr 4, p. 21 – 26.
  25. Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W., 2007, Problemy identyfikacji hydraulicznej oporności przewodów przesyłowych wody wodociągowej, *Instal*, nr 6, p. 63-66.
  26. Siwoń Z., Cieżak W., 2008, Wybrane problem kalibracji modeli przepływów w systemach dystrybucji wody, *Instal*, wyd. spec., p. 79 – 85.
  27. Studziński A., Kobylarz J., 2014, Jakościowa analiza ryzyka awarii przewodów wodociągowych wodociągu grupowego, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, *Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (1/14), styczeń-marzec 2014, p. 311-321.
  28. Walski T.M., Chase D.V., Savic D.A., Grayman W., Beckwith S., Koelle E., 2003, *Advanced Water Distribution Modelling and Management*. Haestad Press, Waterbury, CT, USA.
  29. Walski T.M. et al., 1987, Battle of the network models: Epilogue, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 113(2), 191–203.
  30. Walski T.M., 1983, Technique for Calibrating Network Models, *Journal of Water Resources Planning and Management* , Vol. 109(4), p. 360-372.



31. Walters G., Savic D., Morley M., Schaetzen W., Atkinson R., 1998, Calibration of Water Distribution Network Models using Genetic Algorithms, Transactions on Ecology and the Environment 19.
32. Wang Y., Siu-Kui A., 2009, Spatial distribution of water supply reliability and critical links of water supply to crucial water consumers under an earthquake, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, Issue 2, p. 534-541.

Об авторax (about authors):

**Hołota Ewa**

Institute of Environmental Engineering, Off-Campus Faculty of Law and Social Sciences in Stalowa Wola, The John Paul II Catholic University of Lublin, Ofiar Katynia 8b, 37-450 Stalowa Wola, Poland, email: [ewaholota@kul.pl](mailto:ewaholota@kul.pl)

## DETERMINATION OF THE ELASTIC-DAMPER PROPERTIES OF THE ELEVATOR DRIVE SUPPORTS

УДК 69.002.5:531.8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛАСТИЧНО-ДАМПЕРНЫХ СВОЙСТВ ОПОРНЫХ ПРИВОДОВ ЛИФТА

Vladimir I. Skel

Владимир Иванович Скель

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)  
Московский государственный строительный университет

**Abstract.** *The article discusses experimental and theoretical studies of rubber mounts drive unit passenger Elevator. These supports (pillows) were made in the form of a rubber quadrangular prisms. In the laboratory, the static and dynamic rigidity of rubber cushions for compression, as well as the static shear stiffness, were determined. The study examined pillows of two types: free rubber prisms and rubber prisms, which were placed on top and bottom in quadrangular cups. As a result, it was found that the use of pillows with cups can increase the rigidity of the support for compression by 15 ... 20%; the dynamic compression stiffness by 25 ... 45% can exceed the static one; the logarithmic decrement of damping of the rubber cushion lies in the range of values 0.4 ... 0.5. The stiffness of the cushion with the cups can approximately double or more exceed than the stiffness of the free cushion (without the cups).*

**Keywords:** *Elevator, stiffness, vibrations, support drive unit, damping factor, stand, resonance.*

**Абстракт.** *В статье рассматриваются экспериментальные и теоретические исследования резиновых опор привода узла пассажирского лифта. Эти опоры (подушки) были выполнены в виде резиновых четырехугольных призм. В лаборатории были определены статическая и динамическая жесткость резиновых подушек для сжатия, а также статическая жесткость на сдвиг. В ходе исследования были рассмотрены подушки двух типов: свободные резиновые призмы и резиновые призмы, которые были размещены сверху и снизу в четырехугольных чашках. В результате было установлено, что использование подушек с чашечками позволяет увеличить жесткость опор при сжатии на 15 ... 20%; динамическая жесткость на сжатие на 25 ... 45% может превышать статическую; Логарифмический декремент демпфирования резиновой*

подушки лежит в диапазоне значений 0,4 ... 0,5. Жесткость подушки с чашками может примерно вдвое или более превышать жесткость свободной подушки (без чаш).

**Ключевые слова:** лифт, жесткость, вибрации, опорный привод, коэффициент демпфирования, стойка, резонанс.

Increasing needs and an increasing fleet of elevators require continuous improvement of their drive. Different working conditions and a large range of characteristics predetermine a significant variety in the design of the elevator winches. Electric lifts with cable winches, in which there is an unbroken kinematic connection between the traction body and the brake, were widely used [1]. Winches of elevators traditionally include a traction organ, a brake and an electric motor mounted on a frame supported by rubber supports on the base. The design of the elevator winch requires the safe operation, reliability and safety of the elevator elements, noiselessness and low vibration, the permissible level of acceleration and the accuracy of the cabin stop, and others. For different reasons, the mechanisms for driving elevators do not fully meet these requirements [2; 3; 4]. Studies carried out on passenger elevators have shown that noise and vibration on many elevators exceed permissible limits; high-frequency oscillations of the system take place [5; 6; 7]. Noise and vibration significantly reduce the comfort of living in houses, with elevators installed in them. Dynamics and reliability of the elevator are devoted to the work of many authors, for example, [1-15]. The greatest danger, from the point of view of oscillatory processes, is resonance or near-resonance frequency bands. Various methods and methods are used to reduce oscillations [5; 7; 10; 12; 13; 14; 16]. In all cases, useful, and sometimes decisive, may be an increase in the damping properties of the dynamic system. With reference to the passenger elevator, we note the importance of damping properties of the system in resonance zones, even if there is only a danger of passing through resonance at a certain number of storeys of buildings [3; 7; 8; 11; 12].

The task of these studies was to determine the elastic-damper properties of rubber cushions of some models of operating elevators in order to obtain actual data for accounting when solving problems of elevator dynamics.

The analysis showed that noise and vibration are associated with the emergence of a resonant situation, which can be considered in most cases in the first approximation on a single-frequency (single-mass) dynamical system separately for each resonant frequency. Such a model is described by the forced oscillation equation for the dissipative system [17]

$$\ddot{q} + 2\varepsilon \dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{F}{m} \cos \omega t$$

where  $q$ - is the generalized coordinate of displacements, speed and acceleration

of the reduced inertia element;  $\varepsilon$  - coefficient of damping;  $\omega_0$  - natural frequency of oscillation;  $\omega$  - frequency of driving oscillations;  $F$  - is the force parameter of the external excitation of oscillations;  $a$  - is the reduced characteristic of the inertial element (mass or moment of inertia);  $t$  - is the current time.

The solution of this equation can be an expression for the amplitude of the steady-state oscillations in the form

$$q = q_{ST} \cdot \cos(\omega t - \varphi) / (((1 - \eta^2)^2 + (\mathcal{G} / \pi)^2 \cdot \eta^2)^{1/2},$$

where  $q_{ST}$  - is the static displacement due to the force parameter  $F$  ( $q_{ST} = F / C$ ):  $C$  - is the reduced inertia element;  $\theta$  is the decrement of the oscillations ( $\theta = 2\varepsilon\pi / \omega_0$ );  $\eta$  - relative frequency ( $\omega / \omega_0$ );  $\varphi$  is the phase angle, which is equal to

$$\varphi = \text{arctg}(\mathcal{G} / \pi) \eta (1 - \eta^2) .$$

From the expression for the amplitude of steady-state forced oscillations, it is well known that one of the ways to reduce resonance oscillations is to increase in some way the dissipation of the vibrational energy.

In this study, elastic-damper characteristics of the rubber support of the passenger elevator drive are determined.

The elevator drive is supported by its frame 2 (figure 1) on the base 3 through rubber supports (cushions) 4, located between two metal plates (cups) 5 and 6, which wear them around the perimeter; screw 1 serves to establish the horizontal nature of the drive frame.

To evaluate the elastic-damper properties of the support (cushion), experiments were conducted to determine its rigidity for compression and shear. Rubber cushions had a length and width of 120 mm, a height of 40 mm and chamfers along horizontal ribs of 10 mm. They were placed between two steel cups, covering the cushions along the chamfers with a slight compression, which created limitation deformation of the rubber.

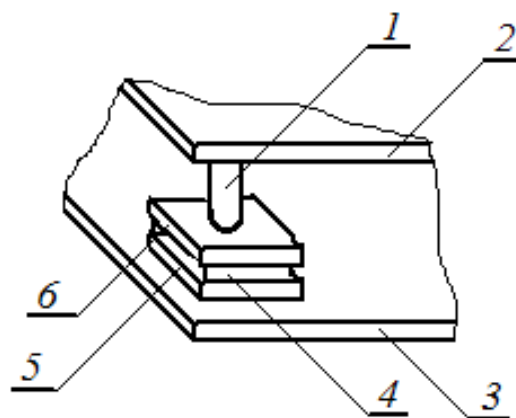


Fig. 1 Support frame for elevator drive

The static rigidity of the rubber cushion was determined on a screw press: the load was measured with a dynamometric ring with a dial gauge indicator of

the hour type with a tared price of division, and deformation with the help with a scale the hour type with a division price of 0.001 mm.

The dynamic rigidity of the rubber cushion was determined on a specially designed shock-type bench (Figure 2). The main frequency of the stand, determined mainly by the rigidity of the rubber cushion under test, was chosen close to the main frequency of the disturbance of the winch of the elevator with a carrying capacity of 400 kg and was about 25 Hz. The deformation of the pillow was measured with the help of a indicator of the hour type, whose readings were duplicated by measurements with a micrometer of deformation of plasticine columns, and the height from which the load fell - with a ruler with a 1 mm division.

The bench for determining the dynamic stiffness consisted of the base 8 (Figure 2), on which the guide bar 9 was installed for the falling load 1. The cargo fell from a fixed height and struck the lever 2 of the second kind. To reduce friction losses, the shock load was transferred to the rubber cushion 7 through hardened balls 4 and rigid plates 5 and 6. The deformation of the cushion was determined from the indications of the indicator 3.

The experiment showed that the static rigidity of the compression of the unconsolidated rubber cushion was practically constant during the loading process and its value was  $C_{st} = 2900 \text{ N / mm}$ .

The value of the dynamic rigidity of the rubber cushion was obtained by calculation from the analysis of the first phase of impact for a pillow in cups and a cushion without cups. Average in a series of ten experiments, the value of the dynamic stiffness of the cushion with a small spread was equal to: for a pillow in the cups  $C_{dz} = 4200 \text{ N / mm}$ ; for a pillow without cups  $C_d = 3600 \text{ N / mm}$ .

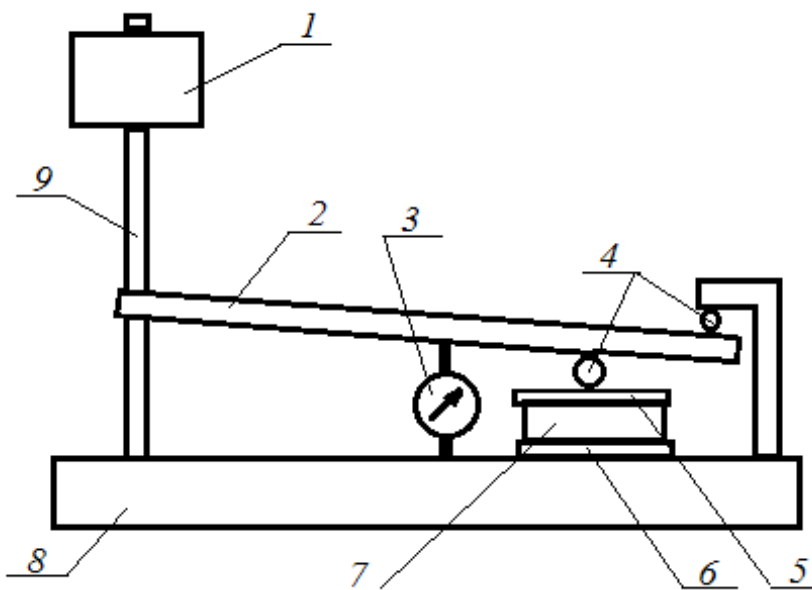


Fig. 2 Scheme of the stand for determination of dynamic rigidity

Studies have shown a significant excess of dynamic rigidity over static, as well as a noticeable effect of the cushion cups on its dynamic rigidity. At the same time, full-scale tests on winches have shown both greater and less difference between the dynamic rigidity of rubber cushions in cups from pillows without cups.

In addition to static tests on the compression of the pillows of the elevator drive supports on the screw press, the tests of pillows in cups and pillows without cups on shear were also performed. As a result, the stiffness values for shear were obtained: pillows without cups  $400 \pm 25$  N / mm, and for cushions in cups  $\approx 1090$  N / mm.

Based on the results of tests according to the procedure of work [18], a modulus of elasticity was obtained for the compression of the material of the pillows  $E \approx 3.4$  N / mm<sup>2</sup> with a static rigidity of 2900 N / mm of cushion without cups; the elastic modulus for shear of the material of the cushion was equal to  $G \approx 1.2$  N / mm<sup>2</sup>. The ratio of the modulus of elasticity to compression to the shear modulus gives a value close to three, which corresponds to a rubber with a Poisson's ratio equal to 0.5 [18].

To assess the damping properties of rubber cushions in a shear test, load curves were plotted - unloading, which allowed to estimate the absorption coefficient  $\Psi$  and the corresponding logarithmic damping decrement  $\delta$  close to 0.4 in the hysteresis loop. A similar experiment on the compression and unloading of a rubber cushion without cups with a height  $h = 70$  mm made it possible to obtain the value of the logarithmic decrement  $\delta \approx 0.45$  ( $\Psi = 0.6$ ). Experimental studies have made it possible to determine that the natural oscillations of the winch frame in the vertical plane are of low form (the rubber cushions in the compression cups work almost uniformly), excited by impact, go at a frequency of  $\approx 30$  Hz. (which corresponds to  $Cd \approx 5400$  N / mm), and the logarithmic decrement  $\delta$  is close to 0.5 (Fig. 3).

Data on the  $\delta$  and  $\Psi$  material of the pillow under investigation show that it is close to the material rubber 1378 [2].

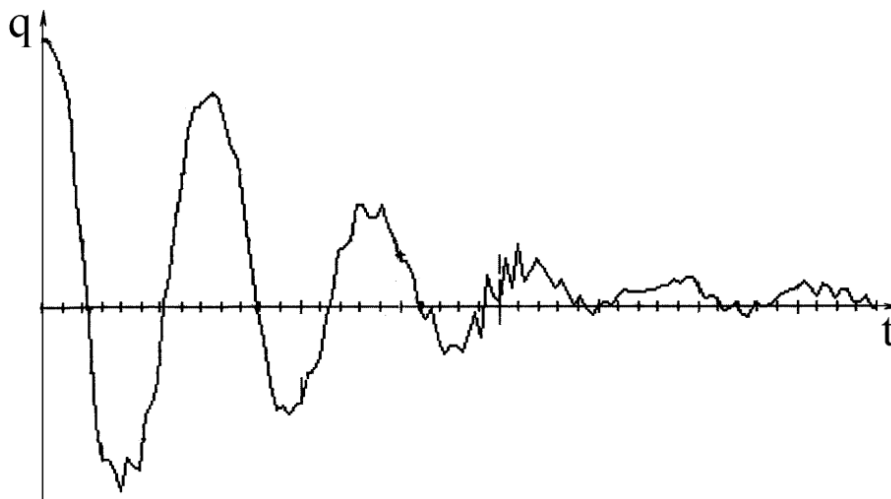


Fig. 3 Example of a test oscillogram

It should be noted that the tests were carried out on new cushions. The reference [18] specifies that for a service life of 3 ... 8 years, the modulus of elasticity and attenuation can vary by 15 ... 30%.

### Conclusions:

1. Executed studies to determine the elastic-damper characteristics of the rubber pillows of the elevator drive provide an opportunity to assess the appearance and level of oscillations of the elevator when it is created.
2. The placement of pillows in the cups leads to a significant increase in their rigidity.
3. The values of the logarithmic decrement of vibration of rubber cushions lie in the interval 0.4 ... 0.5.
4. The dynamic stiffness of the rubber cushion of the elevator support is 3600 N / mm for a pillow without cups and 4200 N / mm for a cushion in the cups.

### Literature:

1. Lifts. Textbook for high schools / under the general ed. D.P. Volkova - M. : publishing house ASV, 1999. - 480 p.
2. Sevryugina NS, Stepanov MA, Mechiev AV The general methodological approach to assessing the risk of constructive safety of elevators // Mechanization of construction. 2017. T. 78. № 4. P. 24-29.
3. Stepanov MA, Mechiev A.V. Analysis of faults in the operation of elevators // Mechanization of construction. 2014. № 8. Pp. 44-46.
4. Mechiev AV, Stepanov MA Investigation of the reliability parameters of the passenger elevator // Materials of the XIX Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, PhD

- students and young scientists “Lifting, transport, construction, road, track machines and robotic complexes”, Moscow. 2015. P. 96.
5. Cherkasov VA, Kaytukov B.A. Limitation of the level of high-frequency oscillations of the elevator car (analytical analysis) // Mechanization of construction. - 2011. - No. 11. - c. 14-17.
  6. Cherkasov VA, Kaytukov B.A. Experimental studies of high-frequency oscillations of the elevator car // Mechanization of construction. - 2011. - No. 12. - c. 17-20. Cherkasov VA, Kaytukov BA Experimental studies of high-frequency oscillations of the elevator car // Mechanization of construction. - 2011. - No. 12. - c. 17-20.
  7. Ovchinnikova Yu.S. Experimental studies of the influence of the dynamic absorber on the oscillations of the elevator winch // Lifting, transport, construction, road, track machines and robotic complexes. M., 2011. P. 106-108.
  8. Stepanov MA, Mechiev A.V. Modeling of the maintenance system of the elevator park // Scientific Review. 2016. №3. C. 27.
  9. Stepanov MA , Mechiev A.V. Determination of the optimal structure of the elevator fleet with the help of the criterion of technical and economic efficiency // Mechanization of construction. - 2016. - No. 7. - c. 49-51.
  10. Turgenev D.V. Modified control system for an asynchronous gearless electric drive of an elevator winch [Electronic resource] / D.V. Turgenev, Yu.N. Dementiev, S.V. Langraf // Modern problems of science and education: an electronic scientific journal. - 2012. - № 2. - Electron. Dan. - URL: [www.scienceeducation.ru/102-6052](http://www.scienceeducation.ru/102-6052).
  11. Cherkasov VA, Kaitukov BA, Kapyrin PD, Skel VI, Stepanov MA Reliability of machines and mechanisms. M-in education and science Ros. Federation, National. Researched. Moscow. Gos. Builds. Un-t. Moscow: NIU MSSU, 2015. 272 p.
  12. Rashid Sharapov and Vitaly Vasiliev 2017 Analysis of the frequency distribution of vibration. MATEC Web of Conferences Volume 117 (2017) RSP 2017 - XXVI R-S-P Seminar 2017 The Theoretical Foundation of Civil Engineering, Warsaw, Poland, August 21-25, 2017.
  13. J. Missler, T. Ehrl, B. Meier, S. Kaczmarczyk & O. Sawodny, “Modeling a rope-free Passenger Transportation System for Active Cabin Vibration Damping”, 6th Symposium on Lift and Escalator Technologies, Northampton, United Kingdom, 2016
  14. The reaction of an electric lift to a vertical seismic wave // Techniques. 1998. № 9. P.25-30
  15. Utgoff P.E., Connell M.E. Real-Time Combinatorial Optimization for Elevator Group Dispatching // IEEE translations on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. 2012. - V.42. - №1. - P. 130 - 146.



16. Vibration in technology: Handbook. In six tons / Ed. Coovet: B.H. The Chelomei (prev.). - M.: Mechanical Engineering, 1981. - Т. 6. Protection from vibration and shock, Ed. K.W. Frolov. 1981, - 456 p.
17. Vibrations in technology: Handbook. In 6 vols. Vol. 1: Oscillations of linear systems / Authors: VV Bolotin and others; Ed. acad. RAS VV Bolotin. - 1999. - 504 p.
18. Vibrations in Technology: A Handbook. In b-ti t. / Ed. advice: V.N. Chelomei (prev.). - M.: Mechanical Engineering, 1981.- Т. 4. Vibration Processes and Machines, Ed. E. E. Lavendela. 1981. - 509 p.

Об авторах (about authors):

**Владимир Иванович Скель**

Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337, Россия, Электронная почта: skelvi@mgsu.ru

**Vladimir I. Skel**

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl highway 26, Moscow, 129337, Russia  
Email: skelvi@mgsu.ru

# CHOICE OF PARAMETERS OF OSCILLATORY ACTIONS IN THE MOLDING OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

UDC 666.97.033.16

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОСЦИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**V.G. Vasiliev**

**В.Г. Васильев**

*Moscow State University of Civil Engineering  
(National Research University), Moscow, Russia*

*Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия*

**ABSTRACT.** *Improvements in the efficiency of vibroforming of concrete and reinforced concrete products are intrinsically linked to the choice of rational modes of vibration impact on a sealing mixture and optimal parameters of the vibrating equipment used. This article walks you through the process of wavepacket propagation in concrete mixture, when forming the reinforced concrete products by harmonic and shock-vibration actions. It is shown that the displacement of the layers of concrete mixture during the shock wave propagation is directed against the direction of the wave propagation, ensuring the pressing effect. A number of studies of wave process that occurs during the spread of vibrations in concrete mixtures in a wide range of the placeability of different heights indicate that forming the large-scale reinforced concrete products and constructions should be made by the use of the low-frequency shock-vibration molding technology. Meanwhile, knowing the velocity of propagation of wave front and the vibration frequency, it is possible to define the limiting thicknesses of the effective and equal compaction of the concrete mixtures. On the basis of the experimental data, the practical recommendations for determining the rational thickness of the sealing concrete mixture have been given according to the vibration frequency.*

**Key words:** *molding of reinforced concrete products, concrete mixture, harmonic oscillations, shock-vibration actions, frequency.*

**АБСТРАКТНЫЙ.** *Повышение эффективности виброформования бетонных и железобетонных изделий неразрывно связано с выбором рациональных режимов вибрационного воздействия на уплотняющую смесь и оптимальных параметров используемого вибрационного оборудования. В данной статье рассказывается о процессе распространения волнового*

пакета в бетонной смеси при формировании железобетонных изделий гармоническими и ударно-вибрационными воздействиями. Показано, что смещение слоев бетонной смеси при распространении ударной волны направлено против направления распространения волны, обеспечивая эффект прессования. Ряд исследований волнового процесса, возникающего при распространении вибраций в бетонных смесях в широком диапазоне размещаемости на разных высотах, показывают, что формирование крупногабаритных железобетонных изделий и конструкций должно производиться с использованием низкочастотных ударно-вибрационная технология. Между тем, зная скорость распространения волнового фронта и частоту колебаний, можно определить предельные значения толщины эффективного и равномерного уплотнения бетонных смесей. На основании экспериментальных данных даны практические рекомендации по определению рациональной толщины герметизирующей бетонной смеси по частоте колебаний.

**Ключевые слова:** литье железобетонных изделий, бетонная смесь, гармонические колебания, ударно-вибрационные воздействия, частота.

### Introduction

At present, with large volumes of prefabricated reinforced concrete production, many large-scale reinforced concrete products of high factory readiness are produced, to which high demands are imposed on uniformity and strength [1; 2; 3; 4]. Traditional (standard) molding conditions do not fully provide high quality and corresponding technical properties of concrete throughout the volume of products due to rapid attenuation of oscillations in the concrete mixture. This disadvantage is compensated to some extent by the use of the low-frequency shock-vibration molding technology [5; 6; 7; 8; 9].

Under symmetrical molding conditions, complex phenomena of the interaction of wave fronts arising in the column of the concrete mixture have been sufficiently studied in the works of various authors [10; 11; 12; 13]. It is of interest to investigate the process of propagation of a wave packet in the concrete mixture with a shock-vibration action on the molded product.

### Research methods

Let us consider the propagation of longitudinal oscillations of a column of the concrete mixture of height  $L$ , when the lower end is affected by harmonious forcing:

$$U(y, t) = A \sin \omega t, \quad (1)$$

where  $A$  – amplitude of mold bottom plate oscillations;  $U(y, t)$  – displacement.

To simplify the calculations, we assume that there is no attenuation in the column of compacted concrete (which will only affect the oscillation amplitude

value of the particles of steady-state oscillations).

The differential equation (in partial derivatives) of a given boundary-value problem has the form:

$$0 < y < L; \quad 0 < t < \infty$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = C_0^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (2)$$

under the boundary conditions:

$$U(L, t) = 0; \quad U(0, t) = A \sin \omega t, \quad (3)$$

and the initial conditions:

$$0 < y < L,$$

$$U(y, 0) = \frac{\partial U}{\partial t}(y, 0) = 0; \quad (4)$$

where  $C_0$  – wave packet propagation speed

The solution of equation (1) with  $\omega \neq \frac{n\pi A}{L}$ , where  $n = 1, 2, 3 \dots$  has the form:

$$U(y, t) = A \frac{\sin \frac{\omega y}{C_0}}{\sin \frac{\omega L}{C_0}} \cdot \sin \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi y}{L} \sin \frac{n\pi C_0 t}{L}, \quad (5)$$

$$b_n = -\frac{2A\omega}{n\pi C_0} \cdot \int_0^L \frac{\sin \frac{\omega}{C_0} y}{\sin \frac{\omega}{C_0} L} \sin \frac{n\pi y}{L} \partial y$$

where  $n = 1, 2, 3 \dots$

From the analysis of formula (5) it follows that the oscillations of the particles in the mixture occur with the same frequency equal to the frequency of the oscillatory action.

Now let us consider the oscillations of the column of height L, on the bottom plate of which a shock (impulse) action is produced, the value of the impulse of which is equal to Y. Just as in the first case, the medium is considered without attenuation.

The statement of the boundary value problem has the form:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = C_0^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad 0 < y < L; \quad 0 < t < \infty \quad (6)$$

with the following boundary and initial conditions:

$$0 < y < L - \delta$$

$$U(y, 0) = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial t}(y, 0) = \begin{cases} 0 \\ -\frac{Y}{\delta \rho} \end{cases} \quad ; \quad L - \delta < y \leq L, \quad (7)$$

herewith  $\delta \rightarrow 0$  (impulse duration is minimal), where  $\rho$  – density

of the concrete mixture.

The solution has the form:

$$U(y, t) = -\frac{Y}{\rho L} t - \frac{2Y}{C_0 \pi \rho} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} \cos \frac{k\pi y}{L} . \quad (8)$$

It is easy to see that the first term of formula (8) increases formally with increasing time.

Let us consider the value relation:

$$\frac{Y}{\rho L} t \quad \text{and} \quad (9)$$

Considering that  $L = C_0 t$ , under this condition, the first oscillation form propagates in the mixture column according to the theory of B.V. Gusev [5]

Substituting (9) into the first term of formula (8), we obtain  $\frac{Y}{\rho C_0}$ . It follows that the first displacement component exceeds the second one in modulus, the value of which decreases even more when there are harmonic factors  $\cos \frac{k\pi y}{L}$  and  $\sin \frac{k\pi C_0 t}{L}$ .

The minus sign (-) before the first displacement component  $U(y, t)$  in formula (8) indicates that the displacement of the layers during the shock wave propagation are directed only downward, against the direction of the wave propagation, and do not decrease in value as they approach the column surface. Subsequent shock impulses can only increase (without or with low attenuation) displacement of the layers downward.

The propagation of oscillation disturbances in the concrete mixture is a wave process that is characterized by the wave velocity and length and is related to the viscoelastic properties of the medium. When forming the high layers of the concrete mixture, one should take into account the ratio of the wave length and the product height in terms of creating favorable conditions for uniform compaction of all layers of the mixture in height [5; 13].

The optimal pulse repetition rate  $f_{opt}$  is determined from the condition of minimum energy costs to obtain a sealing effect: the height of the column of the concrete mixture should be equal to the wave length at a given propagation speed:

$$f_{opt} = \frac{C_0}{L} . \quad (10)$$

So, the higher the height of the compacted column of the concrete mixture, the smaller the frequency. In this case (in the case of impact on the mixture), the

displacements of the layers of the mixture have the same sign and are directed only to the bottom plate, thereby the “pressing effect” is carried out.

With the harmonic action on the concrete mixture, as follows from formula (5), the layer of the mixture vibrates near the equilibrium position, its displacements change sign, thus the above-mentioned “pressing effect” is absent.

The distribution of the obtained solutions to real concrete mixtures, which are multi-phase multicomponent media, will be more correct if we take into account the degree of influence of the shape and spectrum of the shock-vibration impulse on the behavior of the compacted medium [14].

To confirm the obtained results, the experimental studies of the wave process that occurs during the spread of vibrations in concrete mixture when forming the reinforced concrete products of different heights have been undertaken. The speed of propagation of the wave packet was determined by the method of holographic stroboscopy [6; 15].

Studies were carried out on concrete mixtures in a wide range of workability: from a slump of 11-12 cm to hard mixtures characterized by the hardness of 60 s by a technical viscometer. The mixtures were compacted by harmonic and shock-vibration actions with different oscillation parameters. The obtained values of the wave propagation velocity for different compositions and action conditions are given in Table 1.

Table 1. Velocity of the wave packet propagation, m/s, in the concrete mixture at various frequencies of oscillations of the working element

Frequency of oscillations of a working element, Hz	Harmonic oscillations		Shock-and-vibration oscillations
	Slump 11 cm	Hardness of the concrete 60 s	
15	33...46	34...45	30...48
25	50...64	37...54	35...55
50	58...72	53...65	59...75
100	85...90	75...85	80...105

Analysis of the data of Table 1 showed that the range of variation in the propagation velocities of the wave front in concrete mixtures in the case of using harmonic and shock-vibration actions at fixed oscillation frequencies of the working element is practically the same.

Competent visual comparison of the nature of the wave front propagation under symmetrical and asymmetric actions on the mixture carried out in Refs [6; 15] showed that in the case of shock-vibration actions, a clear front of the wave packet was not seen at a distance up to 300-350 mm from the place of vibration application. At a height of 355-400 mm, two harmonics were observed:

the main one with a frequency of 25 Hz and the second one - 30 Hz. At heights above 450 mm, the main carrier harmonic was recorded, propagating at a speed of 45-60 m/s. When using symmetrical oscillations, the wave front had a clear harmonic picture.

In the process of forming large-size reinforced concrete products, it is important to know the value of the propagation velocity of the oscillations along the thickness of the layers to be compacted. In this case, it is possible to choose a rational form of oscillations, in which uniform compaction of the mixture throughout the volume of the large-sized product is ensured.

Depending on the ratio of the wave length and the height of the molded product, zones with the same and oppositely directed oscillations appear in the concrete mixture, which affects the degree of uniformity of the compaction along the height of the compacted mixture.

It is known [5; 13; 16] that the best conditions for uniform and high-quality compaction of concrete mixtures in the height of the product are created when the column height is 1/4 or 3/4 of the wave length, which can be calculated from the used frequency of oscillations and group velocity of their propagation.

Thus, from the known values of the velocities of the wave packet propagation, it is possible to determine the limiting compaction thicknesses of concrete mixtures for any oscillation form.

Table 2 shows rational thicknesses of the concrete mixture compaction, depending on the frequency of oscillations.

Table 2. Rational thicknesses of the concrete mixture of various workability, depending on the frequency of oscillations

Frequency of oscillations of a working element, Hz	Zone of effective compaction of the concrete mixture, cm	
	Slump - 11 cm	Hardness 15 s
15	70...80	55...70
25	55...65	40...55
50	30...35	25...30
100	8...10	6...8

From Table 2 it can be seen that, with the increasing frequency of the oscillations of the working element, the zone of effective compaction of the concrete mixture decreases substantially, making an average 30 cm for a standard frequency of 50 Hz.

## Conclusions

A number of studies of wave process that occurs during the spread of vibrations in concrete mixtures of different heights indicate that forming the

large-scale reinforced concrete products and constructions should be made by the use of the low-frequency shock-vibration molding technology. Meanwhile, knowing the velocity of propagation of wave front and the vibration frequency, it is possible to define the limiting thicknesses of the effective and equal compaction of the concrete mixtures.

#### REFERENCES:

1. M. Pulyaev, M.A. Stepanov, B.A. Kaitukov and others, Mechanical equipment and technological complexes: manual, Moscow, MGSU, 2015, 480 p.
2. Borshchevsky A.A., Ilyin A.S. Mechanical equipment of enterprises for the production of building materials and products. Moscow, Alliance, 2009, 368 p.
3. Chabutkin E.K., Barulev A.V. Experience of using of variable vibration for concrete products manufacturing, Mechanization of construction, 2017, Vol. 7, pp. 38-41.
4. Gusev B.V., Axelrod E.Z., Zvezdov A.I. and others, Manual on the technology of molding of reinforced concrete products (SNIP 3.09.01-85), Moscow, Stroiizdat, 1988, 111 p.
5. Gusev B.V. Theory and practice of compaction of concrete mixtures in low-frequency modes of vibration: D.Sc. thesis, Moscow, 1977, 25 p.
6. Zinoviev E.G. Forming of large-size ferro-concrete products with the use of controlled modes of vibration compaction: PhD work, Moscow, 1989, 257 p.
7. Vasiliev V.G. Choice of optimal parameters of shock-vibrating platforms // Mechanization of construction, 2015, Vol. 11, pp. 30-33.
8. Itkin A.F. Vibration machines for molding concrete products, Kiev, MP Lesya, 2009, 152 p.
9. V.S. Bogdanov, Sharapov R.R., Fadin Yu.M. and others, The fundamentals of the calculation of machines and equipment of enterprises of construction materials and products: textbook, Stary Oskol, TNT, 2013, 679 p.
10. Gusev B.V., Zazimko V.G. Vibration technology of concrete, Kiev, Budivelnik, 1991, 160 p.
11. Savinov O.A., Lavrinovich E.V. Vibration technology of compaction and formation of concrete mixtures, Moscow, Stroiizdat, 1986, 278 p.
12. Nazarenko I.I. Highly efficient vibroforming machines, Kiev, Vishcha shkola, 1988, 143 p.
13. Fayvusovich A.S., Gusev B.V. Technological mechanics of vibrating concrete mixtures, Moscow, Scientific world, 2002, 250 p.
14. Rashid Sharapov and Vitaly Vasiliev. [Analysis of the spectrum distribution of oscillation amplitudes of the concrete mix at shock vibration molding.](#) MATEC Web of Conferences, Volume 117, 2017. RSP 2017 – XXVI R-S-P



Seminar 2017. Theoretical Foundation of Civil Engineering, Warsaw, Poland, August 21-25, 2017.

15. Zinoviev E.G., Vasiliev V.G., Parfenov E.P. Development of methods for studying the “machine-environment” system in the implementation of various oscillations, Moscow, Dep. VINITI, Households and buildings, Vol. 745-B99, 1999, 12 p.
16. Petrov A.S., Lishansky B.A., Rafales-Lamarck E.E. Propagation of oscillations in two-phase dispersed structured systems, Engineering Phys. Journal, Minsk, Science and Technology, Academy of Sciences of the BSSR, Vol. 37, No. 4, 1979, pp. 613-619.

Об авторax (about authors):

**V.G. Vasiliev,**

Moscow State University of Civil Engineering  
(National Research University), Moscow, Russia

## REQUIREMENTS TO PREPARE OF PAPERS OF THE SCIENCE NEWS OF EASTERN TECHNICAL UNIVERSITIES

### ДОРОГИЕ ДУЗЮЯ ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ ПУБЛИКАЦИЮ ИФШИХ НАЦУЧНЫХ СТАТЬЕЙ В СБОРНИКЕ ИЗДАВАЕМЫМ В ЕС ( ПОЛЬША) АСОЦИАЦЕЙ ВЫПУСКНИКОВ САНКТ ПЕТЕРБУРСКИХ ВУЗОВ /

Сборник издаваем один раз в каждые три месяца совместно с международной ассоциацией выпускников российских и советских вузов. Сборник рееструста в scopus

The materials are submitted for publication in the collection of scientific articles (brief communications).

Submissions must meet the usual standard requirements of a scientific article and be sure to include:

- A brief of not more than 250 words, but not less than 100, the thesis-description ( ABSTRACT) of the relevance and the main results of the work.
- relevance (motivation) of the work, a brief overview on its subject matter;
- goals and objectives;
- research methods;
- presentation of new results, obtained personally by the author (authors);
- brief conclusions based on the analysis obtained by the author (authors) and presented in the results;
- bibliography (minimum ten sources).

Overview and abstracts not accepted for publication.

#### **Additional requirements:**

1. The co-authors of each work should not exceed five.

#### **Requirements for formatting of text articles for publication in the collections Forum**

Allowable amount – no less than three full pages, but no more than five.

The electronic version of the text is typed in Word with the following settings:

- font — Times New Roman (Cyr);
- font style — normal (normal);
- point size of font — 12;
- line spacing — 1;
- page setup (margins): top — 24 mm; bottom 30 mm, left — 20 mm; right — 20 mm;

- formulas should be typed using Microsoft Equation (setting the symbols in the formula editor is proportional to the main text; if possible, use the write formula in place);
- if the understanding of the desired pattern, it is executed in the form of single image within the field of text, with small image size with text wrapping. All figures are numbered figure captions are beneath them font with point size 11. Driven drawings must be referenced in the text. Are not allowed pictures made up of individual elements. Numbers, symbols and text inside the picture boxes should be readable (large enough) taking into account the future reduction of page size when printing (the transition from A4 to A5 format);
- large gaps between images and text is permitted.

**The text in the text field is as follows:**

- on the first row (to align to the left in the upper left corner) specifies the UDC work;
- next one blank row, the next row (align right): the title of the ARTICLE (in capital letters) 16 point size.
- On the next line (align to the right) is given the title of the article
- on the next line (align right): initials separated by a space – the name of the author (authors);
- on the next line (align right): the name of the organization (organizations) in lowercase letters;
- positions and academic degrees of the authors are not listed;
- if co-authors from different organizations, the “cap” of the article should take the form:

Physical methods of studying plant crops

A. P. Glinushkin<sup>1</sup>, William Hogland <sup>2</sup>, V. Yu. Rud,<sup>1</sup>

<sup>1</sup>, All-Russian research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia,

<sup>2</sup>, Linnaeus university, Kalmar, Sweden

- after one empty line: short text of no more than 250 words, but not less than 100, in English (ABSTRACT) and then the text (paragraphs begin with a red line, is equal to 1 cm);
- at the end of the text and one blank line, then write the word references (centered) and the following is a list of cited sources.
- the word “references” and a list of cited sources drawn font with point size 11. All sources cited in the reference list must be cited in the text of the work.

**Registration links:**

- references should not be automatically printed in the text in square brackets after the citation (the number of the source [1], [2], etc.);

- references to multiple sources are separated by a semicolon ([1; 2]);
- in the reference list, sources are numbered with Arabic numerals with dot without brackets (1., 2. etc.).

Failure to comply with the formal requirements for registration automatically entail its rejection.

All the submitted works will undergo a two stage peer review, the results of which will be decided on the possibility of publication. The reason for the rejection of the work of their authors were not disclosed.

***The organizers asked you to immediately prepare the article for publication in the proceedings of the Science News of Eastern Technical Universities***

***We ask when sending articles please immediately mark your family name by English language in the file name, together with the number of the section.***

Papers shall sent by e-mail: saup.polska@gmail.com, franciszek.switala@gmail.com

### **Требования к оформлению материалов Science News of Eastern Technical Universities**

Материалы представляются для публикации в сборнике в виде научной статьи или краткого сообщения.

Представляемые материалы должны удовлетворять обычным стандартным требованиям, предъявляемым к научной статье и обязательно включать в себя:

- Краткий не более 250 слов, но не менее 100, тезис-описание ( ABSTRACT) актуальности и основных результатов работы ( на английском языке)
- актуальность (мотивацию) работы, краткий обзор по ее тематике;
- цели и задачи работы;
- методы исследования;
- изложение новых результатов, полученных лично автором (авторами);
- краткие выводы, сделанные на основании анализа полученных автором (авторами) и представленных в работе результатов;
- список литературы (не менее десяти источников).

Обзорные и реферативные работы к публикации не принимаются.

#### **Дополнительные требования:**

1. Количество соавторов каждой работы не должно быть менее десяти.

## **Требования к оформлению текста работ для публикации в сборниках Форума**

Допустимый объем работы – не менее трех полных страниц, но не более пяти.

Электронный вариант текста набирать в редакторе Word со следующими параметрами настройки:

- шрифт — Times New Roman (Cyr);
- стиль шрифта — нормальный (обычный);
- размер кегля шрифта — 12;
- межстрочный интервал — 1;
- параметры страницы (поля): верхнее — 24 мм; нижнее — 30 мм; левое — 20 мм; правое — 20 мм;
- формулы набирать, пользуясь Microsoft Equation (настройка символов в редакторе формул пропорциональна основному тексту; по возможности, использовать запись формулы в строчку);
- если для понимания сути работы необходим рисунок, он выполняется в виде единой картинке в пределах поля для текста, при небольшом размере рисунка – с обтеканием текстом. Все рисунки нумеруются, подписи к рисункам выполняются под ними шрифтом с размером кегля 11. На приводимые рисунки обязательно должны быть ссылки в тексте. Не допускаются рисунки, составленные из отдельных элементов. Цифры, символы и текст внутри поля рисунка должны быть читаемыми (достаточно большими) с учетом будущего уменьшения размера страницы при печати (переход от формата А4 к формату А5);
- большие пробелы между рисунками и текстом недопустимы.

### **Текст в текстовом поле располагается следующим образом:**

- на первой строке (выровнять влево — в левом верхнем углу) указывается УДК работы;
- далее одна пустая строка, на следующей строке (выровнять вправо): НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (прописными буквами) 16 кегль.
- На следующей строке (выровнять вправо) дается название статьи
- на следующей строке (выровнять вправо): инициалы, через пробел – фамилия автора (авторов);
- на следующей строке (выровнять вправо): название организации (организаций) строчными буквами;
- должности и ученые степени авторов не указываются;
- если соавторы работы из различных организаций, то «шапку» статьи следует оформлять в виде:

## УДК 539.12

Физические методы изучения растительных культур

А.П. Глинушкин<sup>1</sup>, Вильям Хогланд<sup>2</sup>, В.Ю. Рудь<sup>1</sup>, *Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Фитопатологии, Московская обл., Россия,*  
*<sup>2</sup> Университет Линнея, Кальмар, Швеция*

- после одной пустой строки: краткий текст не более 750 слов, но не менее 100, на английском языке (ABSTRACT) и далее текст работы (абзацы начинаются с красной строки, равной 1 см);
- в конце текста оставляется одна пустая строка, затем пишется слово ЛИТЕРАТУРА: (выровнять по центру) и ниже приводится список цитируемых источников.
- слово «ЛИТЕРАТУРА» и перечень цитированных источников оформляются шрифтом с размером кегля 11. На все источники, приводимые в списке литературы, обязательно должны быть ссылки в тексте работы.

### Оформление ссылок:

- ссылки на литературу не должны быть автоматическими, печатаются в тексте статьи в квадратных скобках после цитаты (указывается номер источника – [1], [2] и т.д.);
- сноски на несколько источников разделяются между собой точкой с запятой ([1; 2]);
- в списке литературы источники нумеруются арабскими цифрами с точкой без скобок (1., 2. и т.д.).

Несоблюдение формальных требований по оформлению работы автоматически влечет ее отклонение.

Все представленные работы пройдут двухэтапное рецензирование, по результатам которого будет принято решение о возможности публикации. Причины отклонения работ их авторам не сообщаются.

Посылать по адресу: saup.polska@gmail.com, franciszek.switala@gmail.com

### Для справки: **Что такое DOI?**

DOI (Digital Object Identifier) — уникальный идентификатор, который определяет местоположение электронного материала в интернете. DOI выдается издателем и остается неизменным для статьи навсегда. **Science News of Eastern Technical Universities**

