

№4 (9)
2022

Инженерные --- ИССЛЕДОВАНИЯ

ISSN 2782-5582

СОДЕРЖАНИЕ

РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ С ПОМОЩЬЮ CAD-СИСТЕМ А.В. Горда, В.А. Рыбаков	3-9
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗАСОРЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ Е.А. Локтионова, Д.Р. Мифтахова	10-16
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО ПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ М.И. Ефимченко	17-25
ЖЕСТКОСТЬ СТЫКОВ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА СДВИГ В ИХ ПЛОСКОСТИ ДО МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ А.А. Цветкова	26-33
ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ Д.А. Согоян	34-40

CONTENTS

ISOSTATIC TRUSS ANALYSIS IN CAD-SYSTEM WITH GRAPHIC STATICS IMPLEMENTATION A.V. Gorda, V.A. Rybakov	3-9
RELATIVE FLOW RATE OF CLOGGED PRESSURE PIPELINES E.A. Loktionova, D.R. Miftakhova	10-16
PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN PANEL HOUSING CONSTRUCTION M.I. Efimchenko	17-25
THE JOINT STIFFNESS OF PRECAST REINFORCED CONCRETE WALL PANELS TO SHEAR IN THEIR PLANE BEFORE CRACKING A.A. Tsvetkova	26-33
TYPES OF CONSTRUCTION MACHINERY AND EQUIPMENT IN HIGH-RISE CONSTRUCTION D.A. Sogoyan	34-40

УДК 69.04

РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ С ПОМОЩЬЮ САД-СИСТЕМ

А.В. Горда¹, В.А. Рыбаков²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург
(Российская Федерация)

Аннотация. Графические методы расчета конструкций известны человечеству не одно столетие. С развитием численных методов расчета использование графических методов практически потеряло необходимость ввиду ряда их объективных недостатков – неточности, трудоемкости и др. Современные САД-системы в связке с языками визуального программирования делают доступными для реализации графические способы расчета конструкций, позволяя преодолеть перечисленные недостатки. В исследовании рассмотрено два типа статически определимых плоских задач, для каждого из которых предложено решение графическим способом в ПО Rhinoceros 3D с использованием среды визуального программирования Grasshopper. Полученных в ходе работы скрипты, основанные на теории веревочного многоугольника Вариньона и методе расчета усилий в плоских фермах Максвелла-Кремоны, позволяют изменять условия исходных задач, получая при этом динамический пересчет искомых неизвестных.

Ключевые слова: графическая статика, графические методы расчета, веревочный многоугольник, многоугольник Вариньона, метод Максвелла-Кремоны, диаграмма сил, силовой многоугольник, Rhinoceros 3D, Grasshopper.

Ссылка для цитирования: Горда А.В., Рыбаков В.А. Реализация графических методов расчета статически определимых ферм с помощью САД-систем // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 3-9. EDN: NFTRRJ

ISOSTATIC TRUSS ANALYSIS IN CAD-SYSTEM WITH GRAPHIC STATICS IMPLEMENTATION

A.V. Gorda¹, V.A. Rybakov²

^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Graphic statics methods have been known to mankind for centuries, With the development of numerical methods graphic statics methods became unnecessary due to deficiencies such as inaccuracy, complexity, etc. Modern CAD systems in tandem with visual programming implement graphic statics methods allowing overcome their drawbacks. The article deals with the two types of isostatic two-dimensional problems for each of which proposed a graphic statics solution using Rhinoceros 3D software and visual programming language Grasshopper. The scripts obtained in this work are based on Varignon parallelogram theory and Cremona-Maxwell method for truss forces calculation. There is a possibility to modify the problem terms and to get the dynamic recalculation of the unknowns.

Keywords: graphic statics, graphic statics method, Varignon parallelogram, force diagram, form diagram, Cremona diagram, Cremona-Maxwell method, Rhinoceros 3D, Grasshopper.

For citation: Gorda A.V., Rybakov V.A. Isostatic truss analysis in CAD-system with graphic statics implementation // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 3-9. EDN: NFTRRJ

ВВЕДЕНИЕ

Методы графического расчета сооружений широко использовались в инженерной практике вплоть до середины XX века. Известна теория веревочного многоугольника, предложенная голландским инженером С. Стевином в XVII веке и получившая развитие в работах французского инженера Р. Вариньона. Использование метода основано на положении статики о сохранении равновесия тела, к которому приложены две равные, но противоположные по направлению силы, лежащие на одной прямой. Для графического нахождения усилий и реакций в конструкциях строятся связанные между собой силовой многоугольник и диаграмма (план) сил. Существует также метод расчета плоских ферм Максвелла-Кремоны, основанный на соединении силовых многоугольников всех узлов фермы таким образом, чтобы ни одно из усилий не повторялось дважды [1-3].

Среди отечественных исследователей вклад в разработку графических методов расчета конструкций внесли С. С. Голушкевич [4, 5] и В. Л. Кирпичев [6].

С появлением вычислительной техники и численных методов расчета необходимость в использовании графических методов практически отпала. Однако в начале XXI века рядом исследователей были предприняты попытки возродить использование метода графической статики с помощью современных САД-систем [7-14].

Целью данного исследования стала реализация метода графической статики в ПО Rhinoceros 3D с использованием среды визуального программирования Grasshopper. В ходе работы получены решения для двух задач статики, ряд параметров которых доступен для динамического редактирования.

МЕТОДЫ

Для нахождения усилий в элементах треугольной фермы Полонсо графическим методом Максвелла-Кремоны необходимо рассмотреть две плоские задачи статики:

1. Нахождение опорных реакций в статически определимой балке, нагруженной двумя сосредоточенными силами (рис. 1).

2. Нахождение усилий в элементах статически определимой фермы, нагруженной двумя сосредоточенными силами с заранее известными реакциями в опорах (рис. 2).

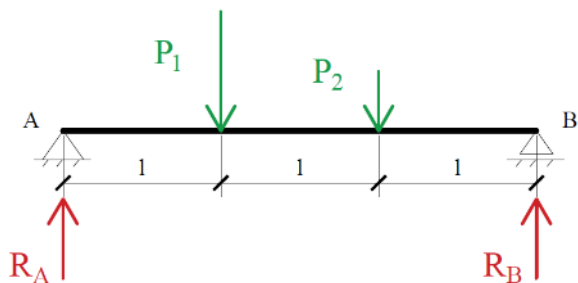


Рис. 1. Расчетная схема к задаче 1
Fig. 1. Problem scheme 1

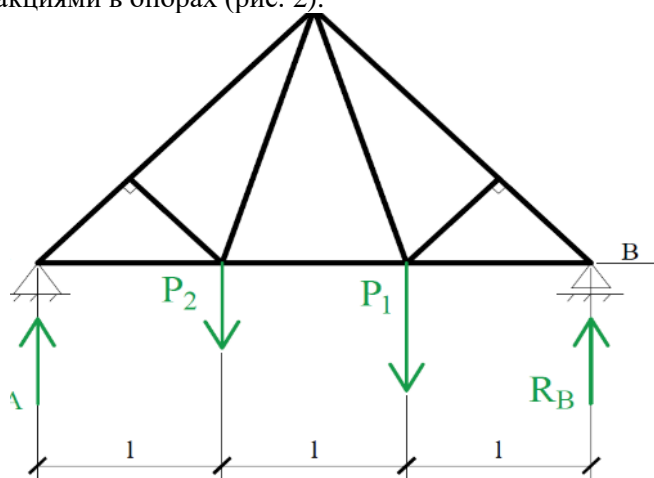


Рис. 2. Расчетная схема к задаче 2
Fig. 2. Problem scheme 2

Для решения первой задачи воспользуемся теорией веревочного многоугольника. Построим диаграмму сил (рис. 3, b). Для этого:

1. Расположим приложенные к балке силы на одной прямой.
2. Произвольно примем положение полюса O.
3. Построим полюсные лучи – прямые, соединяющие полюс O с крайними точками векторов приложенных сил.

Далее получим веревочный многоугольник (рис. 3, a). Для этого:

1. Из произвольной точки на линии действия крайней левой реакции (R_A) проведем прямую, параллельную полюсному лучу через точку начала вектора силы P_1 . Аналогичное действие проделаем с остальными лучами.

2. Замкнем многоугольник, соединив крайнюю левую (на линии действия R_A) и крайнюю правую (на линии действия R_B) образовавшиеся точки.

3. Полученную прямую перенесем на диаграмму сил, проведя ее через полюс O .

4. Получим точку пересечения прямой с вектором суммы реакций, т.е. начало вектора R_B и конец вектора R_A и, как следствие, их величины в масштабе.

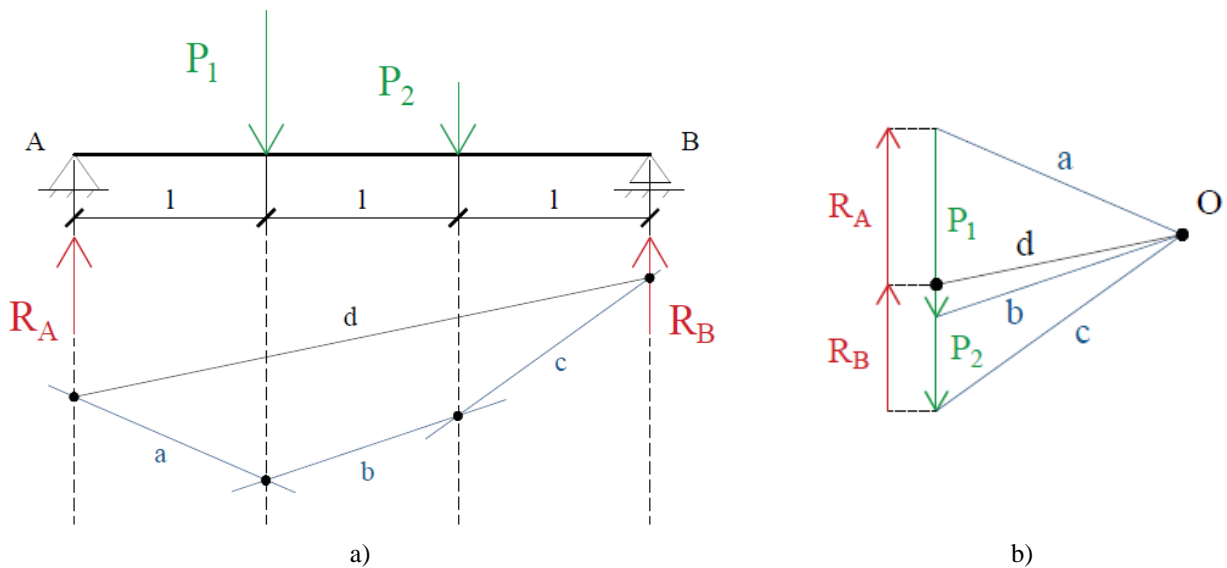


Рис. 3. Нахождение опорных реакций в балке методом веревочного многоугольника: а – расчетная схема и многоугольник сил; б – диаграмма сил

Fig. 3. Support reactions calculation using Varignon parallelogram: a – form diagram; b – force diagram

Для решения второй задачи используем метод нахождения усилий в элементах ферм Максвелла-Кремоны, для чего на базе многоугольника внешних сил построим силовые многоугольники для каждого узла фермы. При этом выбор узлов осуществим таким образом, чтобы в каждом последующем узле было не более двух неизвестных усилий и не менее одного известного. Длины полученных на диаграмме отрезков – значения усилий в элементах в масштабе (рис. 4).

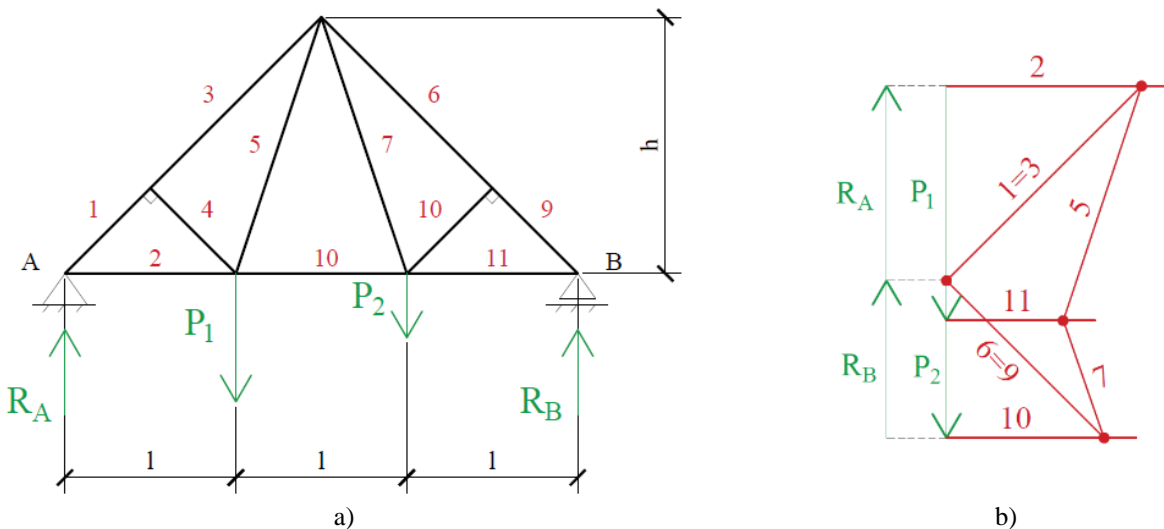


Рис. 4. Нахождение усилий в элементах треугольной фермы Полонсо методом Максвелла-Кремоны: а – расчетная схема; б – диаграмма Максвелла-Кремоны

Fig. 4. Truss forces calculation using Cremona-Maxwell method: a – problem scheme; b – Cremona-Maxwell diagram

Для решения обеих задач были получены силовые многоугольники и диаграммы сил, динамически связанные с расчетными схемами, в процессе чего были использованы следующие базовые компоненты Grasshopper: Vector 2Pt (вектор по двум точкам), Line SDL (линия по начальной точке и вектору), Line (линия по начальной и конечной точке), Move (перемещение геометрии по заданному вектору), Line | Line (нахождение точки пересечения геометрий), End Points (возвращение координат начальной и конечной точки геометрии), Length (возвращение длины геометрии).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Созданный для первой задачи скрипт позволяет изменять величину, место и угол приложения сосредоточенных сил, получая при этом моментальный пересчет опорных реакций (рис. 5).

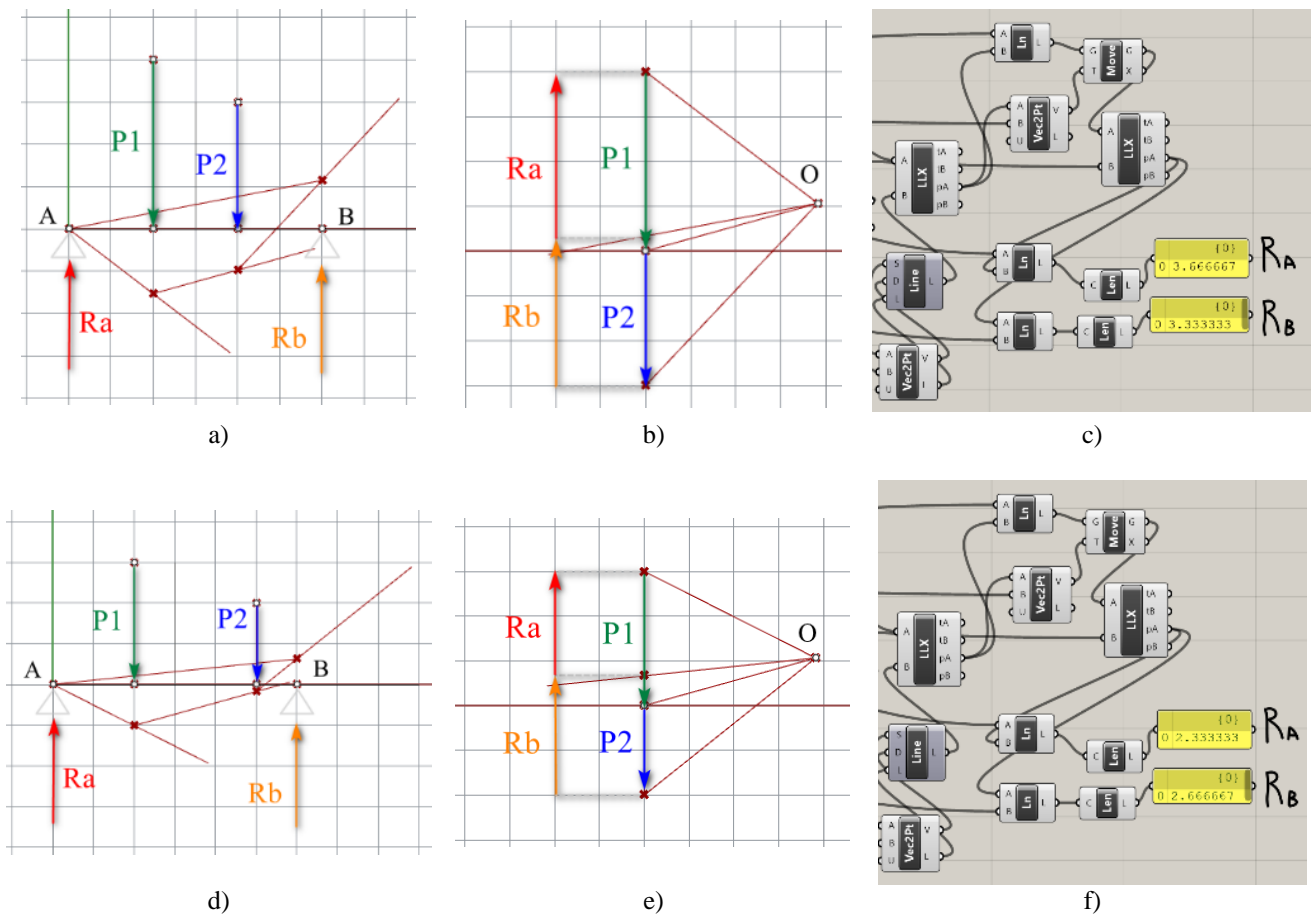


Рис. 5. Иллюстрация работы скрипта для первой задачи: a, d – расчетная схема и многоугольник сил; b, e – диаграмма сил; c, f – фрагмент скрипта

Fig. 5. Use of the first problem script: a, d – form diagram; b, e – force diagram; c, f – script part

Скрипт для второй задачи реализует метод Максвелла-Кремоны и также позволяет получать динамические изменения в значениях усилий элементов фермы при редактировании амплитуд сил. Помимо этого, возможно изменение геометрии фермы (рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки корректности работы скрипта второй задачи была осуществлена проверка нескольких решений с помощью метода конечных элементов в ПК SCAD. Получена крайне высокая сходимость значений, что свидетельствует о корректности реализованного метода (рис. 7).

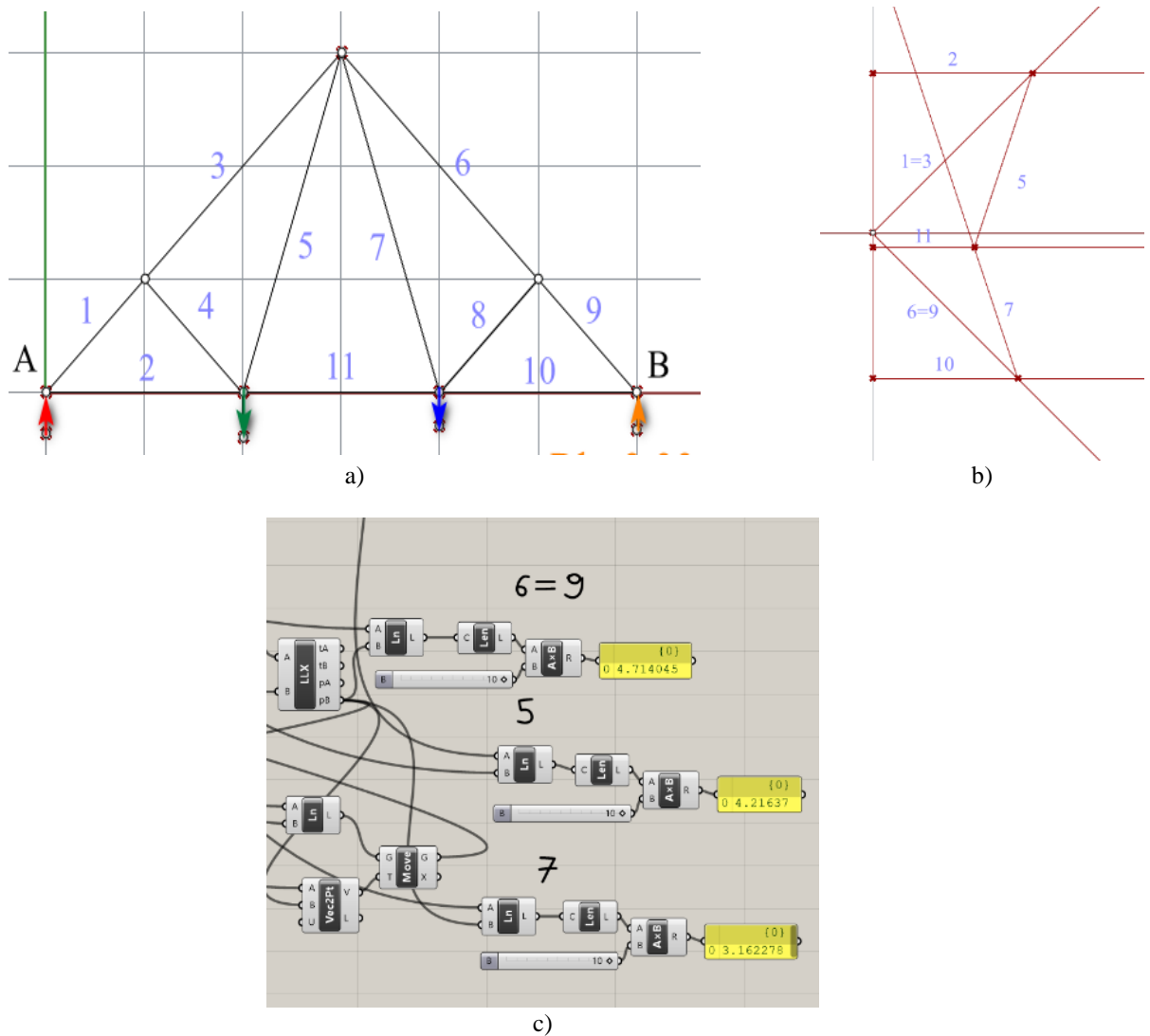


Рис. 6. Иллюстрация работы скрипта для второй задачи: а – расчетная схема; б – диаграмма сил; с – фрагмент скрипта

Fig. 6. Use of the second problem script: a – form diagram; b – force diagram; c – script part

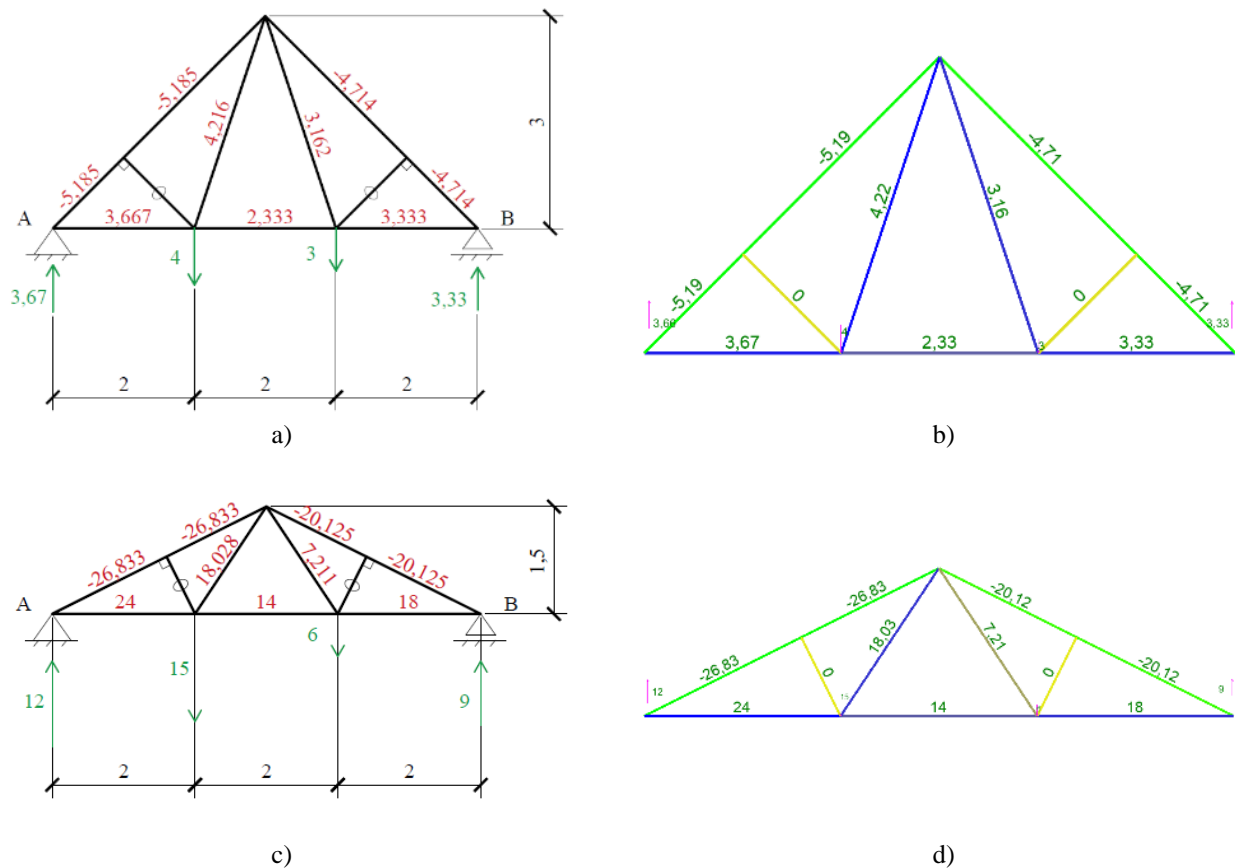


Рис. 7. Усилия в элементах фермы: а, с – полученные с помощью скрипта; b, d – полученные конечно-элементным расчетом в ПК SCAD

Fig. 7. Truss forces obtained by: a, c – script; b, d – finite element method using SCAD software

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования были решены две плоские задачи статики, для каждой из которых были созданы скрипты в среде визуального программирования Grasshopper с визуальным представлением в ПО Rhinoceros 3D. Корректность работы рассмотренных графических методов расчета и созданных скриптов подтверждается проверкой результатов методом конечных элементов.

Подобное решение задач методами графической статики с помощью САД-систем позволило устранить главный их недостаток – неточность, которая имеет место при ручном черчении. Кроме этого, связи, установленные между расчетной схемой и диаграммой сил, позволяют динамически изменять некоторые параметры исходной задачи, при этом моментально получая для анализа обновленные значения искомых усилий или реакций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мисюрев М. А. Методика решения задач по теоретической механике. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1963. 307 с.
2. Лауэнштейн Р. Графическая статика: элементарное руководство для технических учебных заведений и для практических занятий. Санкт-Петербург: Изд. книгопродавца И. И. Базлова, 1902. 291 с.
3. Константинов И. А., Лалин В. В., Лалина И. И. Строительная механика. Учебник. М.: Проспект, 2022. 432 с.
4. Голушкевич С. С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1948. 148 с.
5. Голушкевич С. С. Статика предельных состояний грунтовых масс. М.: Гостехиздат, 1957. 288 с.
6. Кирпичев В. Л. Основания графической статики: учебное пособие для вузов. М.: Гостехиздат, 1933. 227 с.
7. Zanni G., Pennock G. R. A unified graphical approach to the static analysis of axially loaded structures // Mechanism and Machine Theory. 2009. № 44(12). P. 2187-2203.

8. Mele V., Lachauer L., Rippmann M., Block P. Geometry based understanding of structures // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2012. №53 (174). P. 285-295.
9. Beghini L.L., Carrion J., Beghini A., et al. Structural optimization using graphic statics // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2014. № 49(3). P. 351-366.
10. Rippmann M., Lachauer L., Block P. Interactive Vault Design // International Journal of Space Structures. 2012. №27(4). P. 219-230.
11. Hablecsek M., Akbarzadeh M., Guoa Y. Algebraic 3D graphic statics: Reciprocal constructions // Computer-Aided Design. 2019. № 108. P. 30-41.
12. Vedad A., Åkesson D. Bi-directional algebraic graphic statics // Computer-Aided Design. 2017. № 93. P. 26-37.
13. Konstantatou M., Mrobie F.A. Graphic statics for optimal trusses & Geometry-based structural optimization // Conference: International Association for Shell and Spatial Structures, Boston, June 2018.
14. Fuhrimann L., Moosavi V., Ohlbrock P.O., et al. Data-Driven Design: Exploring new Structural Forms using Machine Learning and Graphic Statics // Conference: IASS 2018, Boston, July 2018.

ОБ АВТОРАХ

Анастасия Валерьевна Горда – студентка магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: gorda.av@edu.spbstu.ru

Владимир Александрович Рыбаков – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: fishermanoff@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Anastasia V. Gorda – Master's student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gorda.av@edu.spbstu.ru

Vladimir A. Rybakov – Associate Professor of the Higher School of Civil Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: fishermanoff@mail.ru.

УДК 621.644, 621.22-225

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗАСОРЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е.А. Локтионова¹, Д.Р. Мифтахова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований напорного трубопровода с искусственным засорением. Подтвержден вывод о наиболее существенном снижении пропускной способности трубопроводов в первые годы их эксплуатации. Получен график зависимости, позволяющий приближенно определять степень засорения трубопровода при известном падении расхода в нем в процессе эксплуатации, а также находить предельное засорение трубы, при котором поток жидкости в трубе практически отсутствует. Расширена имеющаяся в литературе оценка снижения пропускной способности трубопровода в процессе эксплуатации на область малых диаметров по данным опытов с искусственным засорением. Показана возможность прогнозирования изменения пропускной способности трубопровода на основании исследований с искусственным засорением.

Ключевые слова: напорный трубопровод, пропускная способность трубопровода, относительный расход, степень засорения, срок эксплуатации.

Ссылка для цитирования: Локтионова Е.А., Мифтахова Д.Р. Пропускная способность засоренных напорных трубопроводов // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 10-16. EDN: UEPVVP

RELATIVE FLOW RATE OF CLOGGED PRESSURE PIPELINES

E.A. Loktionova¹, D.R. Miftakhova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The results of experimental studies of a pressure pipeline with artificial clogging are presented. The conclusion about the most significant reduction in throughput of pipelines in the first years of their operation are confirmed. The dependence diagram that allows to approximate the clogging degree with a known drop in flow rate in it during operation is obtained, this diagram also allows to find the limit clogging of the pipe, at which the liquid flow in the pipe is practically absent. The literature data of the decrease in pipeline throughput during operation in the zone of small diameters based on experiments with artificial clogging are expanded. The possibility of predicting changes in pipeline throughput based on studies with artificial clogging is shown.

Keywords: pressure pipeline, pipeline throughput, relative flow rate, clogging degree, operation period.

For citation: Loktionova E.A., Miftakhova D.R. Relative flow rate of clogged pressure pipelines // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 10-16. EDN: UEPVVP

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в период эксплуатации различных инженерных систем пропускная способность трубопроводов значительно снижается вследствие коррозии и образования отложений на их внутренней поверхности. Имеются исследования, подтверждающие изменение пропускной способности трубопровода с течением времени и описывающие негативные последствия образования отложений на стенках трубопроводов [1-6]. Однако, недостаточно изучен вопрос о возможности прогноза изменения гидравлических характеристик бывшего в эксплуатации трубопровода на основе универсальных, практически удобных критериев (коэффициента скорости, коэффициента гидравлического сопротивления, расхода).

Ранее авторами данной статьи был предложен переход от теории сопротивлений к теории фильтрации и, таким образом, к рассмотрению потока жидкости по трубопроводу с засорением в виде фильтрационного потока сквозь пористую среду [3, 4]. Данный переход обоснован тем, что коэффициенты фильтрации, в отличие от коэффициентов сопротивления, имеют размерность скорости, а также порядок значений, соизмеримый со скоростью в чистой трубе.

Цель работы: расширить имеющуюся в литературе оценку снижения пропускной способности трубопровода в процессе эксплуатации на область малых диаметров по данным опытов с искусственным засорением трубопровода.

Задачи работы: определить зависимость относительного расхода трубопровода от степени его засорения; сопоставить степень засорения трубопровода и продолжительность его эксплуатации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения пропускной способности трубопроводов при увеличении их срока службы известны единичные исследования [2, 9], согласно которым относительная пропускная способность трубопроводов водоснабжения от длительности их эксплуатации, свойств транспортируемой воды и диаметра трубопровода выражается формулой:

$$Q/Q_0 = 1 - 0,01 \cdot n \cdot t^m, \quad (1)$$

где Q/Q_0 – относительная пропускная способность трубопровода (отношение искомой пропускной способности к расчетной), t – продолжительность эксплуатации в годах, n и m – параметры, зависящие от физико-химических свойств транспортируемой воды [2].

Для трубопроводов водоснабжения, учитывая свойства воды образовывать отложения в трубопроводах, А.Г. Камерштейном предложено разбить природные воды на пять групп, каждая из которых определяет характер и интенсивность процесса понижения пропускной способности трубопровода. Группа I описывает случаи слабоминерализованных, некоррозионных воды, группа V – случаи сильно минерализованных, коррозионных вод. Параметры n и m различны для каждой из групп воды, а также изменяются с увеличением диаметра трубопровода. В таблице 1 представлены значения параметров n и m на основании табл. 2-1 из [2].

Таблица 1. Значения параметров n и m по данным [2]

Table 1. Values of parameters n and m according to the data [2]

Группа воды	Диаметр трубопровода D	Параметр n	Параметр m
I	150–300	4,4	0,5
	400–600	2,3	0,5
II	150–300	6,4	0,5
	400–600	2,3	0,5
III	150–300	11,6	0,4
	400–600	6,4	0,5
IV	150–300	18,0	0,35
	400–600	11,6	0,40
V	150–300	32,0	0,25
	400–600	18,0	0,35

Для оценки характера изменения пропускной способности трубопроводов с течением времени был построен график зависимости $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ (рис. 1), который иллюстрирует изменение пропускной способности трубопровода при увеличении продолжительности его эксплуатации для групп воды

различного качества и трубопроводов различного диаметра (диапазоны 150–300 мм и 400–600 мм). Здесь t/t_{max} – отношение продолжительности эксплуатации трубопровода к максимально возможной продолжительности в реальных условиях, принято $t_{max}=50$ лет.

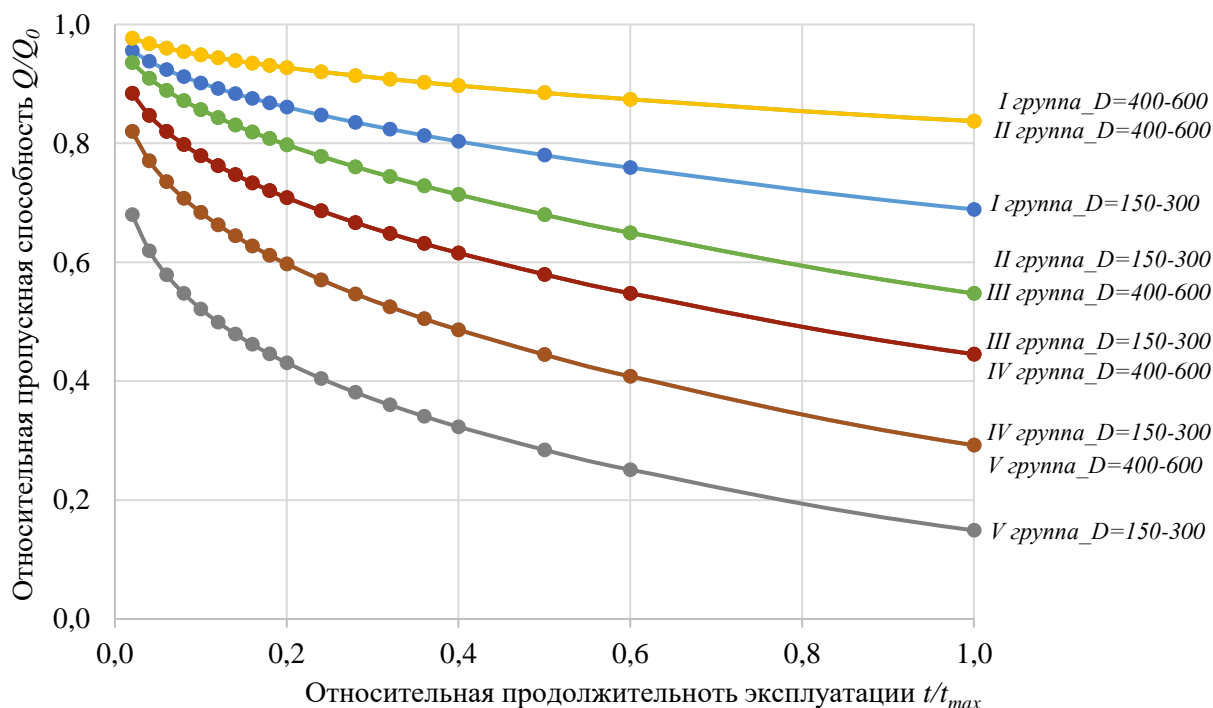


Рис. 1. График зависимости $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ для групп воды I-V и двух диапазонов диаметров трубопроводов
Fig. 1. Dependence diagram $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ for water groups I-V and two ranges of pipeline diameters

График на рис. 1 показывает влияние качества воды на изменение пропускной способности трубопроводов и позволяет сделать следующие выводы:

1. При одинаковой продолжительности эксплуатации трубопровода и при транспортировании воды одного и того же качества относительная пропускная способность ниже для трубопроводов меньших диаметров.

2. С уменьшением диаметра трубопровода интенсивность снижения пропускной способности в ходе его эксплуатации возрастает.

3. Во всех приведенных случаях наиболее существенное изменение пропускной способности трубы имеет место в первые годы ее эксплуатации.

Таким образом, график иллюстрирует влияние диаметра трубопровода и качества транспортируемой воды на изменение пропускной способности трубопровода в процессе его эксплуатации.

Для исследования изменения пропускной способности трубопровода в ходе его эксплуатации авторами данной статьи были проведены серии опытов с имитацией засорения с помощью керамзита и песка для трубопроводов, отличающихся друг от друга отношением длины к внутреннему диаметру ($L/D=20$ либо $L/D=40$) и начальным гидравлическим сопротивлением.

Основным параметром, определяющим изменение пропускной способности исследованных участков, являлась степень их засорения (заполнения) $N=V_{nan}/V_0$, где V_{nan} – объем наполнителя, V_0 – объем исследуемого участка трубы без наполнителя. В ходе эксперимента степень заполнения N принималась в диапазоне значений от 2% до 90% (или, в долях от целого – в диапазоне от 0,02 до 0,9).

По результатам проведенных опытов был построен график зависимости $Q/Q_0 = f(N)$ для участков трубы с разным соотношением L/D и наполнителем двух типов – керамзит и песок. Римская цифра в наименовании серии опытов обозначает начальное гидравлическое сопротивление трубопровода. Значение коэффициента гидравлического сопротивления $\zeta_{нач-I}$ (в наименовании – I) выше значения $\zeta_{нач-II}$ (в наименовании – II), что условно соответствует большему сроку эксплуатации.

График на рис. 2 показывает влияние типа наполнителя на изменение пропускной способности трубопровода при постоянном диаметре. Так же, как и отношение t/t_{max} , степень засорения N отражает продолжительность эксплуатации трубопровода, а два типа наполнителя имитируют различное качество воды. Опытные точки аппроксимированы осредненными степенными функциями.

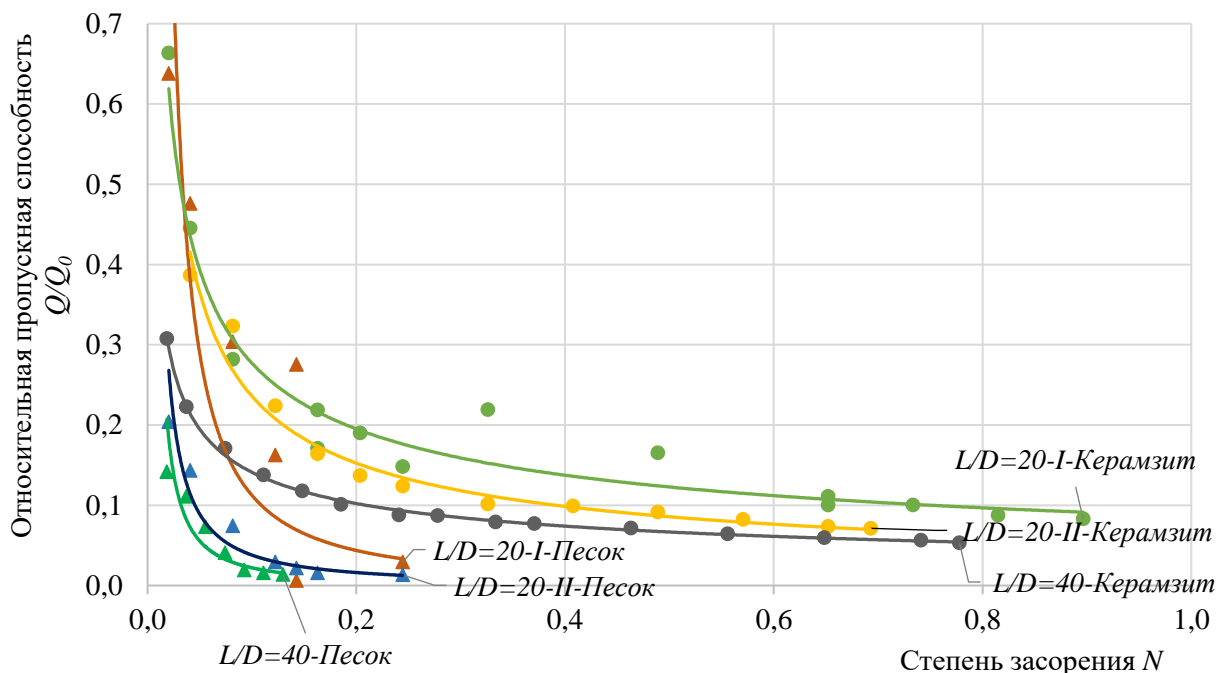


Рис. 2. График зависимости $Q/Q_0 = f(N)$
Fig. 2. Dependence diagram $Q/Q_0 = f(N)$

Для наглядности приведенные выше зависимости размещены на одном графике (рис. 3): на левой плоскости представлена зависимость $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ и на правой плоскости – зависимость $Q/Q_0 = f(N)$.

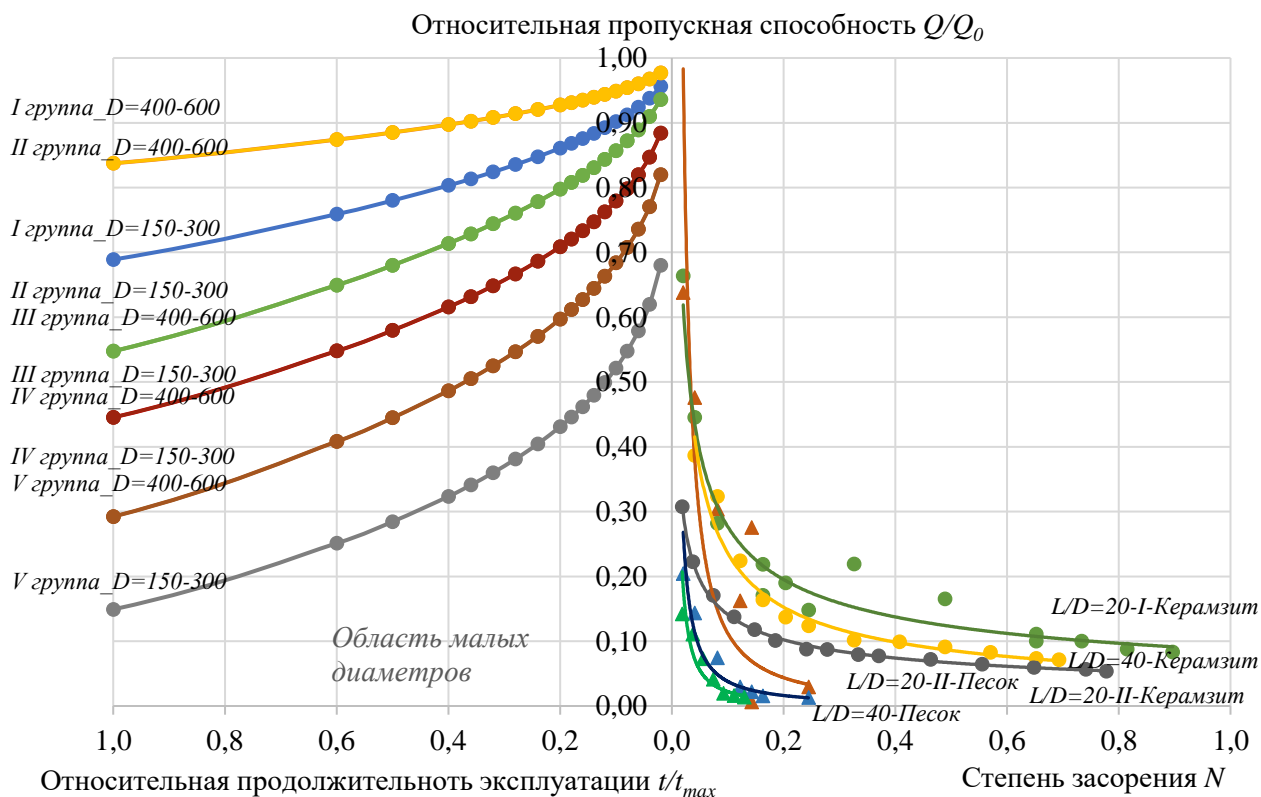


Рис. 3. Совмещенный график зависимости $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ и $Q/Q_0 = f(N)$
Fig. 3. Integrated dependence diagram $Q/Q_0 = f(t/t_{max})$ и $Q/Q_0 = f(N)$

Выводы, полученные на основании совмещенного графика (рис. 3):

1. Зависимости $Q/Q_0=f(t/t_{max})$ и $Q/Q_0=f(N)$ имеют качественно схожий вид кривых, что позволяет предпринять попытку распространения имеющихся в литературных источниках данных на область малых диаметров.

2. Полученное качественное соответствие между степенью засорения N и относительной продолжительностью эксплуатации трубопровода t/t_{max} свидетельствует о возможности прогнозирования снижения пропускной способности трубопровода путем исследования трубопровода с искусственным засорением.

3. Зависимость $Q/Q_0=f(N)$ позволяет определять степень засорения трубопровода при известном падении расхода в нем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью расширения имеющихся данных в [2] и построения графика зависимости $Q/Q_0=f(t)$ в области малых диаметров на основании проведенных опытов с засорением, необходимо найти выражение для времени эксплуатации t при условии, что значения функции $Q/Q_0=f(N)$ известны. Приравняв правые части уравнений $Q/Q_0=f(t)$ и $Q/Q_0=f(N)$, получаем выражение для времени эксплуатации t

$$t = \sqrt[m]{\frac{1 - (Q/Q_0 = f(t))}{0,01 - n}} = \sqrt[m]{\frac{1 - f(N)}{0,01 - n}}. \quad (2)$$

Далее необходимо определить значения коэффициентов n и m (параметры, зависящие от физико-химических свойств транспортируемой воды) в случае расчета трубопроводов малых диаметров.

В связи с тем, что параметр m с изменением диаметра трубопровода изменяется мало, было принято для расчета использовать значения на основании данных [2, табл. 2-1] в зависимости от группы воды.

Для определения значения параметра n в области малых диаметров трубопроводов был построен график зависимости $n=f(D)$ для диаметров трубопровода 150–300 мм и 400–600 мм и групп воды различного качества. Кривые были продолжены по экспоненциальной зависимости до пересечения с осью абсцисс, что соответствует области малых диаметров (рис. 4).

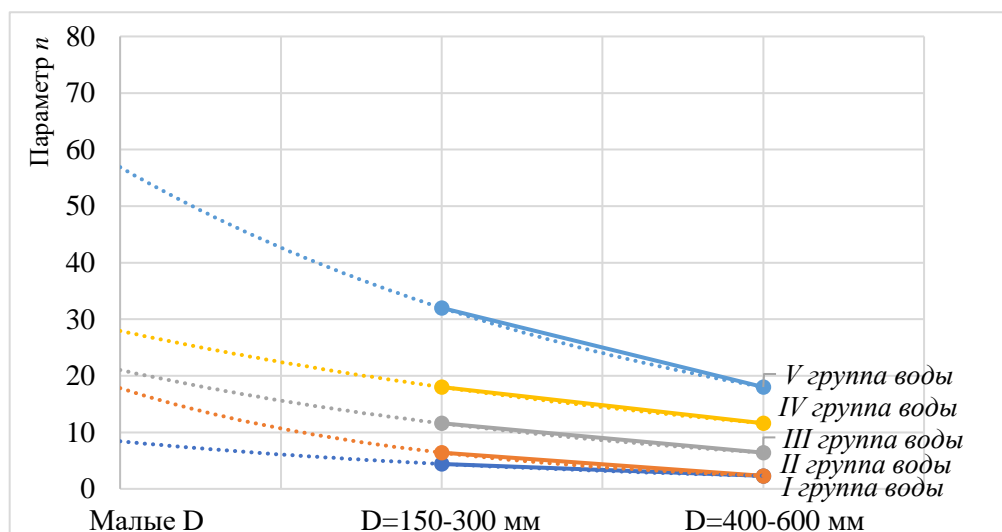


Рис. 4. График зависимости $n=f(D)$ для определения параметра n в области малых диаметров трубопроводов
Fig. 4. Dependence diagram $n=f(D)$ for determining the parameter n in the area of small pipeline diameters

Полученные значения параметра n для малых диаметров трубопроводов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения параметра n для малых диаметров трубопроводов
 Table 2. Values of parameter n for small pipeline diameters

Группа воды	Значение параметра n
I	8,5
II	18
III	21
IV	28
V	57

Таким образом, определены недостающие параметры уравнения (1) и имеется возможность построения графика $Q/Q_0=f(t/t_{max})$ в области малых диаметров. Для определения времени эксплуатации при известном падении расхода воспользуемся формулой (2).

На рис. 5 представлен график зависимости снижения пропускной способности трубопровода от длительности его эксплуатации $Q/Q_0=f(t)$ с учетом не только теоретических данных для больших диаметров (пунктирные линии), но и данных для малых диаметров (сплошные линии), полученных с помощью экспериментальных исследований с засорением.

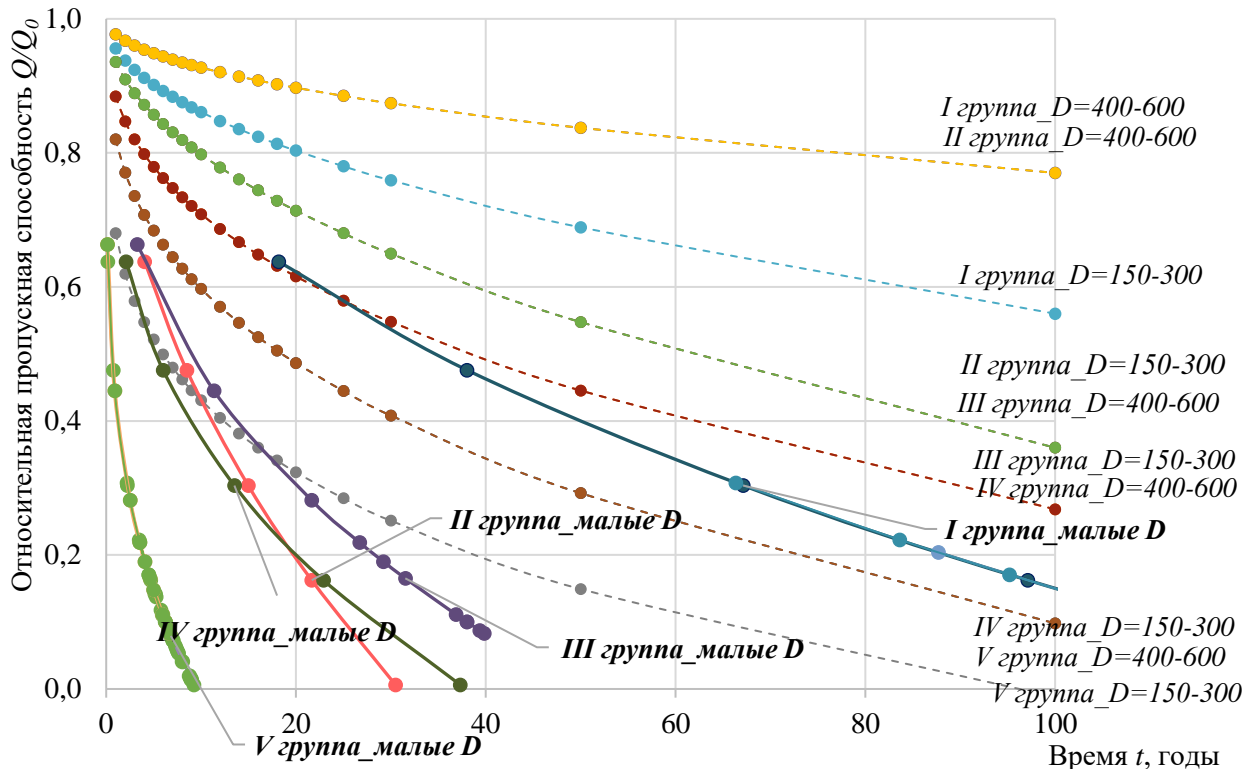


Рис. 5. График зависимости $Q/Q_0=f(t)$
Fig. 5. Dependence diagram $Q/Q_0=f(t)$

Совмещенный график зависимости $Q/Q_0=f(t/t_{max};N)$ на рис. 3 и график $Q/Q_0=f(t)$ на рис. 5 дают наглядное представление об идентичности степени засорения трубопровода и относительной продолжительности его эксплуатации. Данный факт допускает возможность прогноза изменения пропускной способности трубопровода при увеличении его срока службы с помощью исследований влияния на пропускную способность искусственного засорения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Согласно имеющимся литературным источникам, пропускная способность трубопроводов наиболее существенно снижается в первые годы эксплуатации и незначительно – в последующие, что соответствует полученным в результате экспериментов опытным данным.

2. Зависимость $Q/Q_0=f(N)$ позволяет приближенно определять степень засорения трубопровода при известном падении расхода в нем в процессе эксплуатации, а также находить предельное засорение трубы, при котором поток жидкости в трубе практически отсутствует.

3. График зависимости $Q/Q_0=f(t)$, полученный по результатам опытов и с использованием данных из литературных источников, говорит о возможности прогнозирования изменения пропускной способности трубопровода на основании исследований с искусственным засорением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
3. Huang J., Shu L., Chen G. Zhang Y. Impact of Fouling on Flow-Induced Vibration Characteristics in Fluid-Conveying Pipelines. IEEE Access. 2016. Vol. 4. Pp. 6631–6644.

4. Datta S., Sarkar S. A review on different pipeline fault detection methods. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016.
5. Maliva R. Anthropogenic Aquifer Recharge. *WSP Methods in Water Resources Evaluation*. 2020. Series 5. 861 p.
6. Kabir G., Tesfamariam S. Sadiq and R 2015 Bayesian model averaging for the prediction of water main failure for small to large Canadian municipalities. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 43. Pp. 233–240.
7. Локтионова Е.А., Мифтахова Д.Р. Фильтрация жидкости в засоренных напорных трубопроводах // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. № 8(76). С. 214-224. EDN: YSTENJ
8. Loktionova E., Miftakhova D., Yaroslavtseva E. Filtration characteristics of pressure pipelines previous being in operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 883. 012014. DOI:10.1088/1757-899X/883/1/012014
9. Теплов А.В. О закономерностях напорного движения жидкости в трубах // *Теория подобия и ее применение в теплотехнике / Труды Моск. ин-та инж. ж.-д. транспорта. М., 1961. С. 72-78.*
10. Камерштейн А.Г. Мероприятия по сохранению пропускной способности водопроводных труб. М.: Стройиздат, 1950. 140 с.

ОБ АВТОРАХ

Елена Анатольевна Локтионова – доцент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: loktionova_ea@spbstu.ru

Динара Робертовна Мифтахова – аспирант Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: dinara.miftakhova@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Loktionova – Ph.D., Associate Professor of Higher School of Hydraulic Engineering and Power Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: loktionova_ea@spbstu.ru

Dinara R. Miftakhova – post-graduate student of Higher School of Hydraulic Engineering and Power Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: dinara.miftakhova@gmail.com

УДК 693.9

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО ПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

М.И. Ефимченко

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Типовая панельная застройка позволяет возводить здания быстрее и дешевле. Однако панельные дома, построенные еще в советский период, имеют ряд недостатков: слабая звукоизоляция, низкий уровень теплоизоляции, разрушение стыков панелей, невозможность изменения планировки и т.д. Технологии современного панельного домостроения уже решили многие из указанных проблем. В статье приведены примеры типовых серий панельных домов советского периода, описаны преимущества и недостатки панельных домов, проведен теплотехнический расчёт ограждающих стеновых конструкций домов типовой серии П-46. На основании дополнительных расчетов даны рекомендации по оптимальному расположению теплоизоляционного материала в составе ограждающей конструкции с целью обеспечить требуемую теплоустойчивость внутренней среды помещений при минимальном потреблении энергоресурсов на их отопление и кондиционирование. Отдельное внимание уделено перспективам современного панельного домостроения, среди которых: увеличение высотности, свободная планировка, интересная архитектура зданий и др. Всё это позволило сделать вывод, что в будущем панельные дома также будут пользоваться популярностью.

Ключевые слова: жилищное строительство, крупнопанельное домостроение, типовые серии домов, утеплители, теплоизоляционные материалы, теплотехнический расчет, керамзитобетонные навесные панели, планировка квартир, ограждающие конструкции.

Ссылка для цитирования: Ефимченко М.И. Проблемы и перспективы современного панельного домостроения // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 17-25. EDN: WTAXKL

PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN PANEL HOUSING CONSTRUCTION

M.I. Efimchenko

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Typical panel building allows you to build buildings faster and cheaper. However, panel houses built back in the Soviet period have a number of disadvantages: poor sound insulation, low level of thermal insulation, destruction of panel joints, the impossibility of changing the layout, etc. The technologies of modern panel housing construction have already solved many of these problems. The article gives examples of typical series of panel houses of the Soviet period, describes the advantages and disadvantages of panel houses, carried out a thermal calculation of the enclosing wall structures of houses of the P-46 type series. Based on additional calculations, recommendations are given on the optimal location of the heat-insulating material in the building envelope in order to ensure the required thermal stability of the internal environment of the premises with minimal energy consumption for heating and air conditioning. Special attention is paid to the prospects of modern panel housing construction, including: an increase in height, free planning, interesting architecture of buildings, etc. All this led to the conclusion that panel houses will also be popular in the future.

Keywords: housing construction, large-panel housing construction, standard series of houses, heaters, heat-insulating materials, heat engineering calculation, expanded clay concrete hinged panels, apartment layout, enclosing structures.

For citation: Efimchenko M.I. Problems and prospects of modern panel housing construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 17-25. EDN: WTAXKL

ВВЕДЕНИЕ

Панельное домостроение, появившееся в середине прошлого века, до сих пор является крайне востребованным. Строители того времени возвели большое количество панельных домов различных типовых серий.

Панельные дома обладают рядом преимуществ, способствующим широкому распространению данного вида жилья:

1. Сроки строительства - панельные дома возводятся достаточно быстро (6-12 месяцев); сроки зависят от этажности и площади здания (рис. 1).
2. Внутренняя отделка, которая не требует много затрат, так как стены достаточно ровные.
3. Низкая стоимость квартир в панельных домах за счёт дешевизны материалов.



а)



б)

Рис. 1. Ход строительства ЖК «Ручьи» в Санкт-Петербурге¹: а – Июль 2021; б – Март 2022
Fig. 1. The progress of the construction of the residential complex "Streams" in St. Petersburg:
а – 2021, July; б – 2022, March

Панельные дома имеют и ряд недостатков, которые можно объединить в следующие группы [1]:

1. Конструктивные решения: низкий уровень тепло- и звукоизоляции, плохая герметизация швов и другие проблемы.

2. Объемно-планировочные решения: типовые планировки, помещения небольшой площади, низкая высота потолков, отсутствие возможности перепланировки, в виду того, что панели являются несущими конструкциями.

3. Архитектурные решения: отсутствие ярких деталей в оформлении фасадов зданий, грубые широкие швы между панелями, снижающие общее впечатление и влияющие на тепловую защиту здания.

Несмотря на существующие недостатки технология панельного строительства до сих пор применяется застройщиками.

ПАнельное Домостроение Советского Периода

Панельные дома советского периода представляли собой жилые дома исключительно типовых серий, которые строились как временные со сроком эксплуатации всего 25 лет. В военные годы жилищное строительство не велось. Ситуация усугублялась тем, что на оккупированных территориях было уничтожено более 50% жилого фонда, что и привело к повсеместному распространению дешёвых и быстрых в возведении панельных домов. Требовалось в короткие сроки и по достаточно низкой стоимости возвести большое количество жилья, из-за чего начали строиться блокированные дома в 2 этажа на 4-8 квартир [2-4].

Первый панельный пятиэтажный дом был построен в Москве в 1948 году. Наиболее распространёнными среди панельных домов являются серии КОПЭ (рис. 2), П-44 (рис. 3), И-155 (рис.4) и П-111М (рис. 5).

¹ Строительная компания ЛСР [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lsr.ru/spb/zhilye-komplekсы/ruchi/hod-stroitelstva/03-2022/> (дата обращения: 24.04.2022)



Рис. 2. Панельный дом серии КОПЭ²
Fig. 2. Panel house of the KOPE series



Рис. 3. Панельный дом серии П-44²
Fig. 3. Panel house of the P-44 series



Рис. 4. Панельный дом серии И-155³
Fig. 4. Panel house of the I-155 series



Рис. 5. Панельный дом серии П-111М²
Fig. 5. Panel house of the P-111M series

В первых панельных домах типа К7, П-35 применялись крупноразмерные панели, которые были максимально плотными и тонкими для того, чтобы снизить вес и утончить несущие конструкции, что, в свою очередь, повлияло на проблемы со звукоизоляцией. [5, 6].

Воздушный шум возникает в пространстве и, благодаря звуковым волнам, проникает сквозь стены, полы, потолки. Это звучание музыкальных инструментов, телевизора, проигрывателя. В соответствии с СП 51.13330.2011 его уровень не должен превышать 50 дБ.

Ударный шум образуется вследствие механического воздействия на плиту перекрытия любым способом – от шагов людей, передвижения мебели, ремонтных работ. В панельных домах пределом допустимого считается уровень звукового давления в 60 дБ.

В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию герметизации межпанельных швов, что частично решает проблему звукоизоляции [7-10].

Существует и еще одна большая проблема – низкая теплоизоляция. В зимнее время межпанельные швы промерзают и стены пропитываются влагой, из-за чего внутри помещений возникают плесень и грибок, а также значительно снижается уровень тепла. Все это неизбежно приводит к необходимости утепления квартир (рис.6).

Положение слоя теплоизоляционного материала относительно наружной поверхности ограждающей конструкции определяется исходя из функционального назначения и режима эксплуатации зданий и помещений [11-16]. При этом должна обеспечиваться теплоустойчивость при минимальном потреблении энергоресурсов на их отопление и кондиционирование.

На основании методики, представленной в работе [17, 18], проведем теплотехнический расчет и определим положение слоя теплоизоляционного материала, которое обеспечит максимальную средневзвешенную температуру ограждающих стеновых конструкций.

² Агентство недвижимости Циан [Электронный ресурс]. – URL: <https://spb.cian.ru/stati-8-samyh-udachnyh-serij-tipovyh-domov-gde-zhit-horosho-311759/> (дата обращения: 24.04.2022)

³ Серии домов. И-155 [Электронный ресурс]. – URL: http://tipdoma.ru/series_i-155.html (дата обращения: 24.04.2022)



a)



b)

Рис. 6. Способы утепления квартир в панельных домах: а – внешний⁴; б – внутренний⁵
Fig. 6. Methods of insulation of apartments in panel houses: a – external; b – internal

Теплотехнический расчет проведем для панельных домов типовой серии П-46, основные характеристики которой представлены в табл.1.

Таблица 1. Основные характеристики домов типовой серии П-46⁶
 Table 1. The main characteristics of houses of the P-46 type series

№ п/п	Показатель	Значение
1	Тип дома	Панельный
2	Количество этажей	12, 14 этажей, технический этаж в уровне чердака и подвал под всем зданием
3	Высота жилых помещений	2,64 м
4	Наружные стены	Керамзитобетонные навесные панели толщиной 340 мм
5	Внутренние стены	Железобетонные панели толщиной 140, 180 мм.
6	Междуэтажные перекрытия	Ж/б панели толщиной 140 мм, опирающиеся по контуру размером на комнату
7	Перегородки	Гипсобетонные панели толщиной 80 мм
8	Лестницы	Сборные ж/б из маршей и площадок

Основные теплотехнические характеристики внешних стен домов серии П-46 приведены в табл.2.

Таблица 2. Теплотехнические характеристики внешних стен домов серии П-46
 Table 2. Thermal characteristics of the outer walls of houses of the P-46 series

Номер слоя	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	Плотность (ρ), кг/м ³
1	Керамзитобетонные навесные панели	0,34	0,45	700 - 1200

Используя приведенную в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» методику, теплотехнические характеристики материала стеновой конструкции домов серии П-46, а также климатические условия Санкт-Петербурга, проведем теплотехнические расчет ограждающих конструкций.

Определим термическое сопротивление керамзитобетонных навесных панелей:

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i = \frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,34}{0,45} = 0,91 \frac{М^2 \cdot ^\circ C}{Вт}, \quad (1)$$

⁴ Утепление фасадов панельных домов [Электронный ресурс]. – URL: <https://idei.club/47513-uteplenie-fasadov-panelnyh-domov-44-foto.html> (дата обращения: 19.04.2022)

⁵ Как утеплить угловую квартиру изнутри [Электронный ресурс]. – URL: <http://xxl-teplo.ru/kak-uteplit-uglovuyu-kvartiru-iznutr/> (дата обращения: 19.04.2022)

⁶ Серия П-46 - планировка квартир. Всё о серии [Электронный ресурс]. – URL: <https://resog.ru/seriya-p-46-informaciya-dlya-soglasovaniya-pereplainrovki/> (дата обращения: 17.04.2022)

где R_{int} - сопротивление теплообмену на внутренней поверхности стены, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$,
 R_{ext} - сопротивление теплообмену на наружной поверхности стены, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$,
 ΣR_i - сумма термических сопротивлений всех слоев ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (2)$$

где α_{int} - коэффициент теплопередачи внутренней поверхности стены, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (3)$$

где α_{ext} - коэффициент теплопередачи внешней поверхности стены, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Определим минимально допустимое термическое сопротивление ограждающей конструкции.

Градусо-сутки отопительного периода по СНиП 23-02-2003 определяются по формуле как:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 + 1,8) \cdot 220 = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут}$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче следует принимать не менее нормируемых значений, определяемых по СНиП 23-02-2003 в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 4796 + 1,4 = 3,0786 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

где: D_d - градусо-сутки отопительного периода в Санкт-Петербурге,
 a и b - коэффициенты, принимаемые по СНиП 23-02-2003.

Теплотехнический расчет показал, что термическое сопротивление стены $R_0=0,91$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, что гораздо ниже требуемого ($R_{req}=3,08$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$). В связи с выявленным несоответствием необходимо дополнительно утеплить ограждающие стеновые конструкции здания.

Определим минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала:

$$R_{targ} = R_{req} - R_0 = 3,08 - 0,91 = 2,17 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (4)$$

Так как внешний слой ограждающей конструкции (утеплитель) будет оштукатурен, сделаем корректировку величины, рассчитанной по формуле (4). При толщине слоя цементно-песчаного раствора 0,02 м ($\lambda=0,93$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$) минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала составит 2,19 $(\text{м} \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

На рынке строительных материалов доступно множество вариантов утеплителей торговых марок: Knauf, Isoroc, Isover, Rockwool, Paroc, Ursa, Эковер, Пеноплэкс, Технониколь, Baswool и др. Термическое сопротивление представленных на рынке образцов варьируется от 0,03 до 0,044 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$. На примере утеплителя, имеющего среднее из более 150 рассмотренных в [17, 19] вариантов утеплителей значение коэффициента теплопроводности ($\lambda=0,037$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$) определим толщину утеплителя, которая обеспечит требуемое термическое сопротивление стены (5):

$$\delta_{yt}^{req} = \lambda_{yt} \cdot R_{targ} = 0,037 \cdot 2,19 = 0,081 \text{ м} = 81 \text{ мм} \quad (5)$$

Большинство утеплителей выпускается в виде плит с толщиной 50 или 100 мм. По формуле (6) определим термическое сопротивление стены из условия, что толщина утеплителя будет равна 100 мм - толщина, максимально близкая к рассчитанной по формуле (5):

$$R_0^{yt} = R_{int} + R_{ext} + \sum R_i^{yt} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,34}{0,45} + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,02}{0,93} = 3,62 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \quad (6)$$

Из полученного результата видно, что $R_0=3,62$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} > R_{req}=3,08$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, что превышает минимально допустимые нормы и обеспечит комфортное проживание людей.

Для определения расположения слоя утеплителя, рассмотрим распределение температур по сечению ограждающей конструкции при температуре наружного воздуха $t_{ext} = -26 \text{ °C}$ для двух вариантов [19]:

– 1 вариант – слой утеплителя находится со стороны наружной среды, а несущий слой – с внутренней стороны;

– 2 вариант – слой утеплителя находится со стороны внутренней среды, а несущий слой – с наружной стороны ограждающей конструкции.

Определим распределение температур в сечении конструкции для двух вариантов положения слоя утеплителя.

Температура на границе n -ного слоя ограждающей конструкции τ_n , с его «теплой» стороны, определяется по формуле (7):

$$\tau_n = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot r \cdot (R_B + R_1 + \dots + R_n) \quad (7)$$

где: R_1, \dots, R_n – сопротивление теплопередачи n -ного слоя ограждающей конструкции.

Подставим в (7) исходные данные и полученные расчетные значения. Результаты расчетов представлены в табл.3 – табл.5 и на рис.7.

Таблица 3. Распределение температур в ограждающей конструкции
 Table 3. Temperature distribution in the building envelope

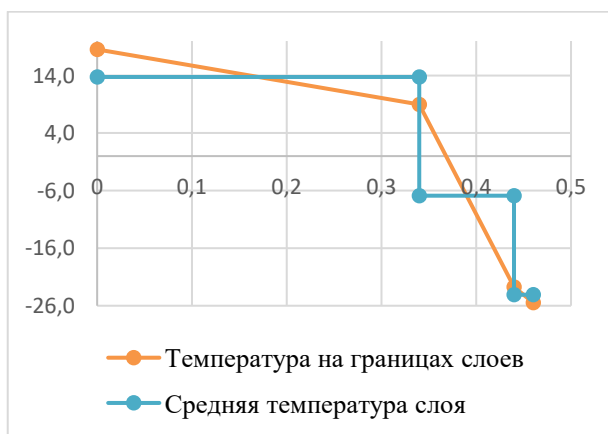
Обозначение	Температура на границах слоев	
	утеплитель снаружи	утеплитель внутри
τ_{int}	18,5	18,5
τ_1	8,97	15,8
τ_2	-22,72	-15,9
τ_3	-25,5	-25,4
Средняя температура конструкции	7,6	-14,5

Таблица 4. Теплофизические характеристики ограждающей конструкции (утеплитель снаружи)
 Table 4. Thermophysical characteristics of the building envelope (outside insulation)

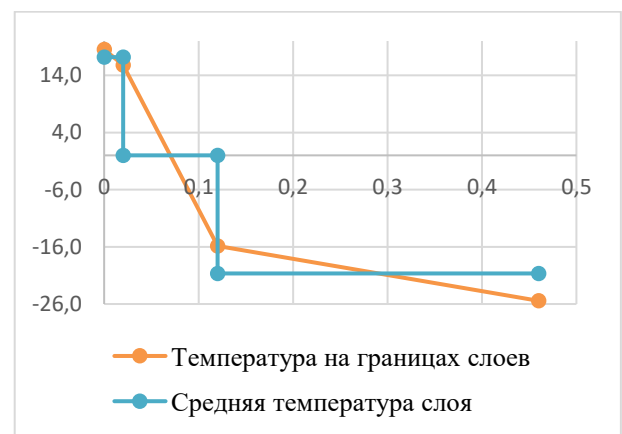
Расположение слоев	λ	δ	R	Средняя температура слоя
Керамзитобетонные навесные панели	0,45	0,34	0,756	13,754
Утеплитель	0,04	0,10	2,500	-6,879
Цементно-песчаный раствор	0,09	0,02	0,215	-24,086

Таблица 5. Теплофизические характеристики ограждающей конструкции (утеплитель внутри)
 Table 5. Thermophysical characteristics of the enclosing structure (insulation inside)

Расположение слоев	λ	δ	R	Средняя температура слоя
Цементно-песчаный раствор	0,09	0,02	0,215	17,180
Утеплитель	0,04	0,10	2,500	-0,027
Керамзитобетонные навесные панели	0,45	0,34	0,756	-20,660



а)



б)

Рис. 7. Распределение температур в ограждающей конструкции при различных вариантах положения слоя утеплителя: а – утеплитель снаружи; б – утеплитель внутри

Fig. 7. Temperature distribution in the building envelope for various options for the position of the insulation layer: a - insulation from the outside; b - insulation inside

В первом варианте (слой утеплителя расположен снаружи кладки) средняя температура ограждающей конструкции равна $+7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, несущий слой всегда будет находиться в области положительных температур. Это уменьшает размер температурных деформаций в кладке и, следовательно, вероятность образования деформационных напряжений и трещин.

Во втором варианте, когда слой утеплителя расположен со стороны внутренней среды здания, температура в кладке в зимнее время будет находиться в области отрицательных температур (средняя температура ограждающей конструкции составляет $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). При резких изменениях температуры воздуха в годовом исчислении, а также при резкой смене погодных условий кладка будет подвергаться воздействию больших температурных колебаний, что может привести к появлению в ней трещин от температурных деформаций.

СОВРЕМЕННОЕ ПАНЕЛЬНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ

Несмотря на, казалось бы, угасающий интерес, в настоящее время панельное домостроение активно применяется застройщиками.

Современные застройщики оптимизируют блок-секции, улучшают стыки между ними и применяют современные теплоизоляционные материалы обеспечения теплоустойчивости ограждающих стеновых конструкций. Был увеличен шаг несущих стен, изменены планировки (рис. 8). Из основных изменений: был увеличен размер кухни, увеличена высота потолков до 3 м и др.



Рис. 8. Планировки квартир панельных домов: а – Дом серии К-7⁷; б – ЖК «Ручьи» в Санкт-Петербурге⁸
Fig. 8. Layouts of apartments of panel houses: а – K-7 Series House; б – Residential complex «Streams» in St. Petersburg

Также преимуществом современных панельных домов является улучшенная теплоизоляция. Застройщики используют технологию бесшовного домостроения, нанося теплоизоляционный слой из материалов с пониженным коэффициентом теплопроводности поверх железобетонных панелей. Это позволяет сделать фасады более устойчивыми к воздействию внешних факторов и увеличить срок их эксплуатации [20].

⁷ Типовой жилой дом серии К-7 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kvmet.ru/information/homes_series/k_7/ (дата обращения: 20.04.2022)

⁸ Строительная компания ЛСР. Жилой комплекс Ручьи, очередь 1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lsr.ru/spb/zhilye-kompleksy/ruchi-ochered-1/> (дата обращения: 20.04.2022)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Типовая панельная застройка позволяет возводить здания быстрее и дешевле. В современных панельных домах учитываются ошибки домостроения советского периода, благодаря чему улучшается звукоизоляция, уменьшается теплопроводность стен и увеличивается срок эксплуатации таких домов.

В работе был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций домов серии П-46, на основании чего принималось решение о необходимости повышения энергоэффективности зданий. С помощью расчетов было показано, что положение слоя утеплителя в ограждающей конструкции в общем случае не влияет на значения температур внутренней и наружной поверхности. Несмотря на это в конструктивном отношении слой утеплителя целесообразно располагать с внешней стороны ограждающих конструкций жилых домов и других зданий, к помещениям которых предъявляется требования поддержания стабильной положительной температуры в течение всего времени их эксплуатации.

В настоящее время панельные дома строятся не так часто, в основном строятся монолитные, но некоторые застройщики продолжают возводить панельные дома по новым технологиям, учитывая ошибки советского периода. Среди перспектив современного панельного домостроения можно выделить [21]: увеличение высоты панельных домов, свободная планировка, интересный в архитектурном плане облик зданий, особое проектирование первого этажа (с учетом востребованности аренды помещений под офисы или магазины), наличие сквозных вестибюлей и др. Всё это позволяет сделать вывод, что в будущем панельные дома также будут пользоваться популярностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черная О. А. Современные тенденции проектирования домов в панельном строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18-20 мая 2022 года. Том Часть 2. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 313-318. EDN OPPLBZ.
2. Николаев В.Н., Степанова В.Ф. Новый уровень панельного домостроения: композитные диагональные гибкие связи и петли монтажные для трехслойных бетонных панелей // Жилищное строительство. 2019. № 10. С. 14-20.
3. Гринкруг Н.В., Михайлова Т.М. Современные тенденции в панельном домостроении // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 5(53). С. 110-115. DOI 10.17084/20764359-2021-53-110. EDN HPIELX.
4. Смолий В.А., Косарев А.С., Яценко Е.А. Эффективность применения энергосберегающих трехслойных панелей для жилых и общественных объектов каркасно-панельного домостроения // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3. № 15-16(56-57). С. 47-50. EDN XYOFLV.
5. Коршунов А.Н. Проектная «Универсальная система крупнопанельного домостроения» для строительства в Москве. Панельные дома могут быть как социальным, так и элитным жильем // Жилищное строительство. 2017. №5. С. 11-15. EDN YRHGSH.
6. Шмелев Г.Д., Фоменко Н.А., Гаврилова В.Н. Сравнительный анализ современных систем возведения зданий гражданского назначения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 3(6). С. 9-19. EDN XVRESD.
7. Аристаров А.С. Развитие крупнопанельного домостроения в Петрозаводске // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 27. С. 1028-1033. EDN WPHNGE.
8. Леонтьев С.В., Власов Р. А. Современные перспективы развития технологии производства крупноформатных стеновых панелей // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 390-395. EDN XPHJN.
9. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Черник В.И. Расчет параметров надежности стыковых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 148-152.
10. Кириллова А.Н., Жихарев Д.Ф., Бижанов С.А. Реновационные модели в процессе жизненного цикла существующей жилой застройки // Недвижимость: экономика, управление. 2018. № 4. С. 13-17.
11. Zemitis J., Terekh M. Management of energy efficient measures by buildings' thermorenovation // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 06003. DOI 10.1051/mateconf/201824506003. EDN GBUPQB.
12. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure // Magazine of Civil Engineering. 2016. No.8(68). P. 86-91. DOI 10.5862/MCE.68.9. EDN YMDLBD.
13. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_26 EDN: HSLOOO

14. Zemitis J., Terekh M. Optimization of the level of thermal insulation of enclosing structures of civil buildings // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 06002. DOI 10.1051/mateconf/201824506002. EDN AIYBQJ.

15. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Graphical method for determination of maximum wetting plane position in enclosing structures of buildings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». 2020. С. 022046. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022046 EDN: МССАНН

16. Заборова Д.Д., Куколев М.И., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель энергетической эффективности слоистых строительных ограждений // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 4(254). С. 28-33. EDN VMKLDТ.

17. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // Journal of Physics: Conference Series, Voronezh, 10-13 December 2019. Voronezh, 2020. P. 012066. DOI 10.1088/1742-6596/1614/1/012066. EDN PCBORQ.

18. Гамаюнова О. С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 89-97. EDN ANXMJJ.

19. Гамаюнова О.С. Методика обоснования теплотехнических характеристик стеновых конструкций жилых зданий: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2021. 166 с. EDN CJHWXK.

20. Бурыкин А.С., Кадушкин Ю.В. Каркасное и каркасно-панельное домостроение в условиях Северо-Западного региона РФ // Вестник Студенческого научного общества. 2018. Т. 9. № 2. С. 126-128.

21. Шелюто Т.Ю., Поль И.А., Шестов И.О. Современное панельное домостроение: прошлое, настоящее, будущее // Синергия Наук. 2017. № 10. С. 550-556. EDN YLPAZT.

ОБ АВТОРАХ

Марк Игоревич Ефимченко – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: markyefimchenko@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Mark I. Efimchenko – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: markyefimchenko@gmail.com

УДК 69.04

ЖЕСТКОСТЬ СТЫКОВ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА СДВИГ В ИХ ПЛОСКОСТИ ДО МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

А.А. Цветкова

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. В настоящем исследовании делается обзор методов расчета жесткости вертикальных стыков стеновых панелей крупнопанельных зданий, приведенных в действующих нормативных документах и наиболее часто используемом пособии к ним, выявляются противоречия в методах расчета. На основании проведенного сравнения, обзора научных публикаций, анализа работы вертикального стыка железобетонных стеновых панелей на арматурных выпусках делается вывод, что напряженно-деформируемое состояние стыка представляет собой совокупность сдвига и сжатия. На основании данной предпосылки предлагается формула для расчета податливости (величины, обратной жесткости) стыка в направлении z , в плоскости панелей. Проводится численный эксперимент в программно-вычислительном комплексе SCAD путем моделирования стыка с помощью объемных конечных элементов для проверки достоверности значений податливости стыка в направлении оси z , полученных по данной формуле. Погрешность результатов, полученных по формуле и в численном эксперименте в случае связей, наложенных сбоку от стыка и связей, наложенных посередине стыка, составляет менее 1% и 7% соответственно. Формулу можно использовать при задании жесткостей упругих связей при моделировании крупнопанельных зданий в вычислительных программных комплексах.

Ключевые слова: коэффициент жесткости, податливость, расчет стыка, численный эксперимент, напряженно-деформированное состояние стыка, специальные конечные элементы, сдвиг, сжатие.

Ссылка для цитирования: Цветкова А.А. Жесткость стыков сборных железобетонных стеновых панелей на сдвиг в их плоскости до момента трещинообразования // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 26-33. EDN: HYZLEU

THE JOINT STIFFNESS OF PRECAST REINFORCED CONCRETE WALL PANELS TO SHEAR IN THEIR PLANE BEFORE CRACKING

A.A. Tsvetkova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. This study provides an overview of the methods for calculating the stiffness of vertical joints of wall panels of large-panel buildings, given in the current regulatory documents and the most frequently used manual for them, contradictions in the calculation methods are revealed. Based on the comparison, review of scientific publications, analysis of the performance of vertical joint of reinforced concrete wall panels on reinforcement loops, it is concluded that the stress-strain state of the joint is a combination of shear and compression. Based on this premise, a formula is proposed for calculating the joint flexibility (value, the inverse of stiffness) in the z direction, in the plane of the panels. A numerical experiment is carried out in the SCAD software and computing complex by modeling the joint using volumetric finite elements to verify the reliability of the values of joint flexibility in the direction of the z axis obtained by this formula. The error of the results obtained by the formula and in the numerical experiment in the case of bonds superimposed on the side of the joint and bonds superimposed in the middle of the joint is less than 1% and 7%, respectively. The formula can be used when setting the stiffness of special finite elements when modeling large-panel buildings in computing software complexes.

Keywords: coefficient of stiffness, flexibility, numerical experiment, stress-strain state of the joint, special finite elements, shear, compression.

For citation: Tsvetkova A.A. The joint stiffness of precast reinforced concrete wall panels to shear in their plane before cracking // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 26-33. EDN: HYZLEU

ВВЕДЕНИЕ

Корректное построение расчетной модели сборного железобетонного здания в любом программном комплексе невозможно без моделирования стыков стеновых панелей. В случае решения по сварке стеновых панелей между собой через пластину (рис. 1а) связь моделируется абсолютно жестким телом, в случае решения стыка панелей на петлях (рис.1б) - связевыми конечными элементами упругих связей, жесткость которых (податливость – обратная величина) нужно численно задать в т/м (кН/м) или, в случае задания жесткости на поворот, т · м/рад (кН · м/рад).

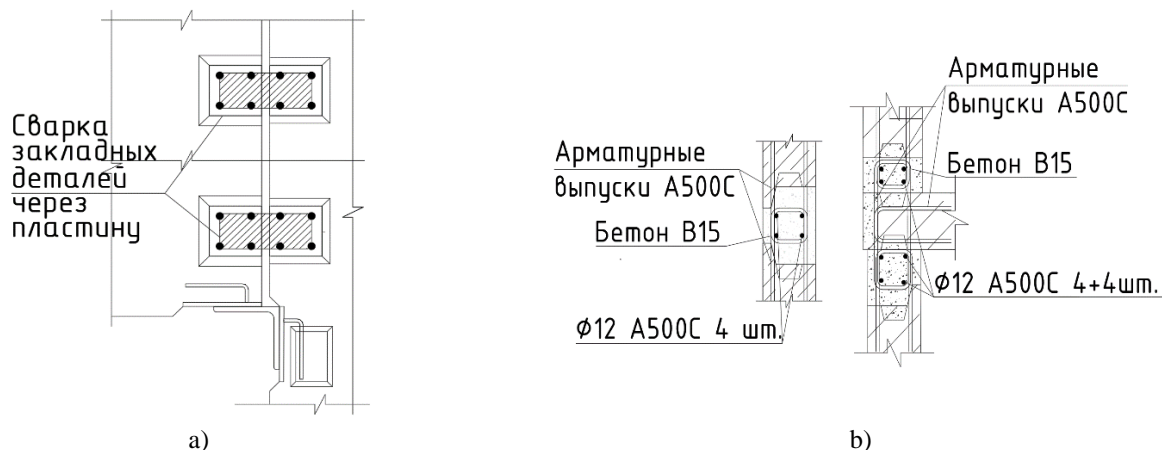


Рис. 1. Варианты вертикального соединения панелей между собой: а – жесткое на сварке через пластину; б – упругое на арматурных выпусках (стык двух стен слева и трех стен справа)

Fig. 1. Options for vertical connection of panels between each other. a – rigid on welding through a plate; b – elastic on rebar loops (joint of two walls on the left and three walls on the right)

В практике расчетов принято руководствоваться СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы», СТО 3655401-026-2012 «Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков...», «Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий к СНиП 2.08.01-85». Однако, данные нормативные документы дают противоречивые формулы для расчета податливости стыков в плоскости панелей, так, СП 335.1325800.2017, как и «Пособие...» предлагает воспользоваться формулой (1), которая представлена ниже.

$$\lambda_{\tau,b} = \frac{l_{loc} \left(\frac{1}{E_b} + \frac{1}{E_{mon}} \right)}{A_{loc} n_k} \quad (1)$$

где l_{loc} – условная высота шпонки, равная 250мм;

E_b, E_{mon} – модули упругости бетона и шва замоноличивания соответственно, кПа;

A_{loc} – площадь шпонки; n – количество шпонок.

СТО 3655401-026-2012 предлагает рассчитывать жесткость (податливость – обратная величина) на сдвиг K по формулам (2) – (4):

$$Q_1 = R_b \cdot l_k \cdot t_k \cdot n_k \quad (2)$$

$$Q_2 = 1.5 R_{bt} \cdot l_k \cdot h_k \cdot n_k \quad (3)$$

$$K = \frac{Q}{\Delta} \quad (4)$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона шпонки на сжатие;

R_{bt} – расчетное сопротивление бетона шпонки на растяжение;

l_k – ширина шпонки;

t_k – глубина шпонки;

h_k – высота шпонки;

n_k – общее количество шпонок по обеим граням панелей;

Q – сдвиговое вертикальное усилие, приходящееся на 1м.п. стыка и равное $Q_{min}(Q_1, Q_2)$;

Δ – смещение стыка, вызываемое усилием Q и равное 1мм/м.п.

Был произведен анализ отечественных и зарубежных публикаций, посвященных расчету и моделированию стыков стеновых панелей крупнопанельных зданий. Были найдены публикации, посвященные расчету стыков на закладных деталях [2], стыков с использованием гибких петель [3]. Также ряд работ посвящено оценке напряженно-деформированного состояния горизонтальных и комбинированных стыков [4,5] и автоматизации расчета стыков в программных комплексах [6-8]. В современных зарубежных исследованиях, посвященных стыкам железобетонных элементов, в основном внимание уделяется работе стыков колонн [9-10]. Наиболее схожую задачу нахождения податливости вертикальных стыков стеновых панелей рассматривает В.П. Блажко [1]. В своем исследовании он моделирует стык стеновых панелей крупнопанельных зданий (рис.2) и делает вывод о том, что формула (1) занижает жесткость соединения панелей, что при расчетах на динамические воздействия приводит к существенным искажениям результатов расчета.

На основании вышесказанного, было решено сконструировать новую формулу, описывающую податливость вертикального шпоночного стыка стеновых панелей в их плоскости до момента трещинообразования.

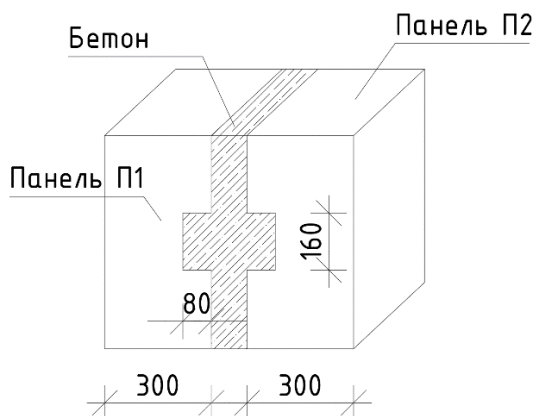


Рис. 2. Стык, замоделированный в исследовании В.П. Блажко
Fig. 2. The joint modeled in the study of V.P. Blazhko

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве предпосылки для конструирования формулы было взято предположение, что стык работает на совокупность сжатия и сдвига, а не только на сжатие, которое учтено в формуле (1). Была составлена схема стыка с учетом последовательности и параллельности его элементов, взаимосвязь податливостей которых представлена ниже (рис.3). Чертеж стыка и его схема также представлены ниже (рис. 4).



Рис. 3. Случаи расположения элементов стыка: а – последовательное; б – параллельное
Fig. 3. Cases of arrangement of joint elements: a – serial; b – parallel

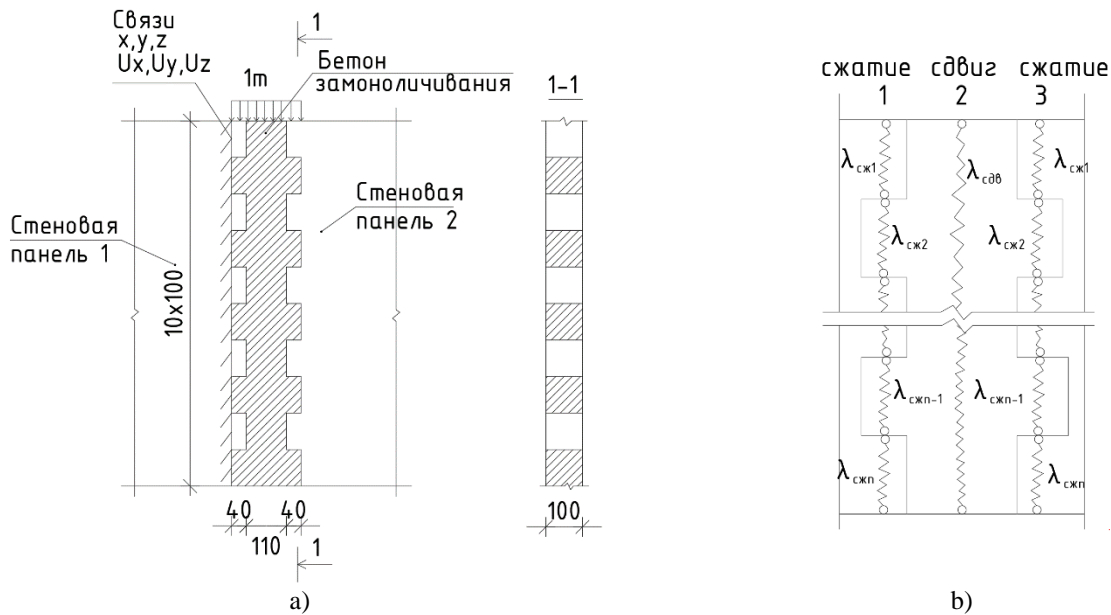


Рис. 4. Моделируемый стык: а – визуальное представление стыка; б – схема стыка
Fig. 4. The considered joint: а – visual representation of the joint; б – junction diagram

Таким образом, податливость стыка выражается формулой (5):

$$\frac{1}{\lambda_{стыка}} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \quad (5)$$

В свою очередь, податливость λ_1 выражается как сумма податливостей каждого из блоков высотой 0,1м, вычисляемых по известному закону Гука, т.к. соединение последовательное, по формуле (6):

$$\lambda_1 = \frac{1 \cdot l_{блока1}}{E_{блока1} \cdot A_{сж}} + \frac{1 \cdot l_{блока2}}{E_{блока2} \cdot A_{сж}} + \dots + \frac{1 \cdot l_{блока10}}{E_{блока10} \cdot A_{сж}} \quad (6)$$

где $l_{блокn}$ – высота n-го блока (шпонки или не шпонки);

$E_{блокn}$ – модуль упругости n-го блока;

$A_{сжатия}$ – площадь поверхности блока, перпендикулярная сжимающей силе.

У нас пять одинаковых блоков высотой 100мм с модулем упругости панели E_b и пять одинаковых блоков высотой 100мм с модулем упругости шва замоноличивания $E_{мон}$. Подставив данные значения в (6) и выполнив преобразования получим формулу (7):

$$\lambda_1 = \frac{5l_{блока}}{E_{мон} \cdot A_{сж}} + \frac{5l_{блока}}{E_b \cdot A_{сж}} = \frac{5l_{блока}}{A_{сж}} \left(\frac{1}{E_{мон}} + \frac{1}{E_b} \right) \quad (7)$$

В связи с симметрией стыка $\lambda_1 = \lambda_3 = \lambda$, запишем формулу (8):

$$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda} = \frac{2}{\lambda} = \frac{1}{\lambda/2} \quad (8)$$

Подставим (7) в (8) и получим формулу (9):

$$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_3} = 1 / \left(\frac{5l_{блока}}{2A_{сж}} \left(\frac{1}{E_{мон}} + \frac{1}{E_b} \right) \right) \quad (9)$$

Обратимся к сдвиговой составляющей работы стыка. Схема работы стыка на сдвиг показана на рис.5.

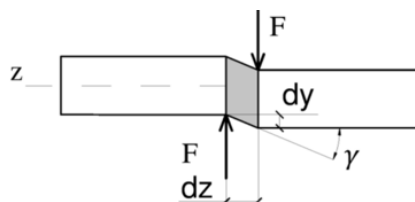


Рис. 5. Схема работы материала на сдвиг
Fig. 5. The scheme of the performance of the material for shear

Податливость при сдвиге от усилия в 1т (1кН) определяется известной формулой (10):

$$\lambda_2 = \frac{1 \cdot z}{G_{\text{мон}} \cdot A_{\text{сдвига}}} \quad (10)$$

где: $G_{\text{мон}} = \frac{E_{\text{мон}}}{2(1 + \mu)} = 0.417 E_{\text{мон}}$ – модуль сдвига бетона (μ - коэффициент Пуассона);

z – толщина стыка, или расстояние между панелями;

$A_{\text{сдвига}}$ – площадь сдвигаемых поверхностей, для рассматриваемого стыка;

$$A_{\text{сдвига}} = n_{\text{блоков}} \cdot A_{\text{блока}} = 5 \cdot 0.1 \cdot 0.1 = 0.05 \text{ м}^2.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате анализа напряженно-деформированного состояния стыка, путем подстановки (9,10) в (5) и выполнения преобразований формула (11):

$$\lambda = \frac{1}{\frac{2A_{\text{сж}} E_{\text{мон}} E_b}{n_{\text{шп}} l_{\text{шп}} (E_b + E_{\text{мон}})} + \frac{G_{\text{мон}} A_{\text{сдвига}}}{z}} \quad (11)$$

где: $E_{\text{мон}}$, E_b модуль упругости соответственно шва замоноличивания стыка и стеновой панели;

$G_{\text{мон}}$ – модуль сдвига шва замоноличивания;

$l_{\text{шп}}$ – высота шпонки, также равная межшпоночному расстоянию;

$n_{\text{шпонок}}$ – количество шпонок по одну сторону панели;

$A_{\text{сж}}$ – площадь сжатия шпонки, перпендикулярная сжимаемой нагрузке;

$A_{\text{сдвига}}$ – площадь сдвига, равная площади сдвигаемых поверхностей по одну сторону шва;

z – расстояние между стеновыми панелями (длина стыка).

Предлагаемая формула (11) дополняет (1) сдвиговой составляющей. Таким образом, значение жесткости уже не является заниженным, как было указано в [1]. Формула применима в том случае, когда высота шпонки равна межшпоночному расстоянию.

ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитаем податливость по предложенной формуле (11) значение податливости для стыка на рис. 4а. Принимаем материал стеновой панели бетон В25, бетон замоноличивания стыка В15.

$$E_b = 3058103 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \quad E_{\text{мон}} = 2446483 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \quad A_{\text{сж}} = 0.004 \text{ м}^2 \quad A_{\text{сдвига}} = 0.05 \text{ м}^2 \quad z = 0.11 \text{ м}$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{2(0.004 \cdot 2446483 \cdot 3058103)}{5 \cdot 0.1(2446483 + 3058103)} + \frac{0.417 \cdot 2446483 \cdot 0.05}{0.11}} = \frac{1}{21746.5 + 463720} = 2,059 \cdot 10^{-6} \text{ м / м}$$

Данный стык моделировался в программном комплексе SCAD с помощью восьмиузловых конечных элементов тип 36. В результате выполнения расчета от нагрузки 1т получились максимальные перемещения по z , равные $4.05 \cdot 10^{-6} \text{ м / м}$. Изополю перемещений представлены на рис.6.

$$\text{Погрешность составляет: } \Delta = \frac{4.09 - 2,059}{4.09} = 49\% .$$

Далее был рассчитан по формуле (11) и замоделирован в SCAD стык, отличающийся по параметрам от исходного: связи были наложены в середине стыка, в результате чего расстояние z уменьшилось вдвое (рис.7).

Результат расчета по формуле (11) представлен ниже:

$$E_b = 3058103 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \quad E_{\text{мон}} = 2446483 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \quad A_{\text{сж}} = 0.004 \text{ м}^2 \quad A_{\text{сдвига}} = 0.05 \text{ м}^2 \quad z = 0.055 \text{ м}$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{2(0.004 \cdot 2446483 \cdot 3058103)}{5 \cdot 0.1(2446483 + 3058103)} + \frac{0,417 \cdot 2446483 \cdot 0.05}{0.055}} = \frac{1}{21746.5 + 927439} = 1.053 \cdot 10^{-6} \text{ м / м}$$

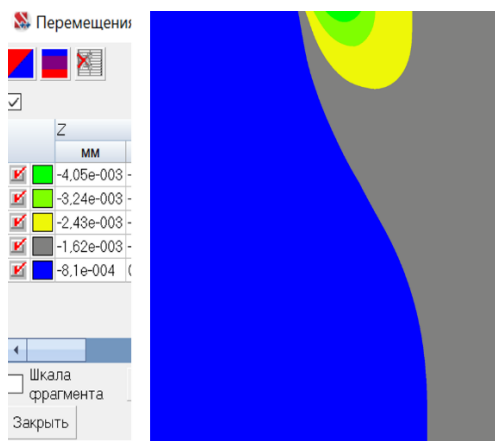


Рис. 6. Изополя перемещений по Z в SCAD исходного стыка
Fig. 6 Isofield of Z-displacements in the SCAD of the initial joint

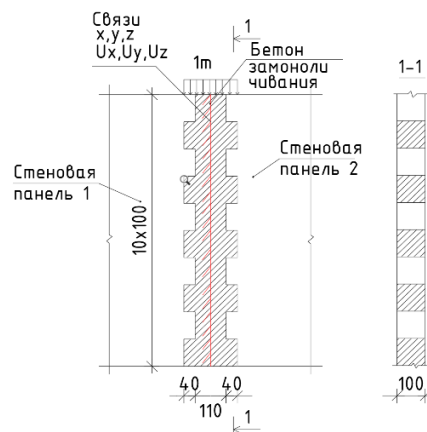


Рис. 7. Схема стыка со связями, наложенными посередине
Fig. 7. Junction diagram with links superimposed in the middle

Результат расчета модели из объемных конечных элементов со связями посередине шва представлен на рис. 8.

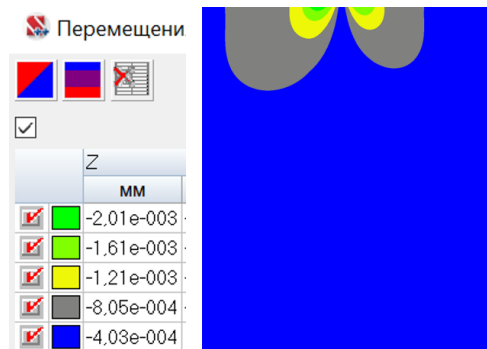


Рис. 8. Изополя перемещений по Z в SCAD стыка со связями, наложенными посередине.
Fig. 8. Isofield of Z-displacements in the SCAD of the joint with links superimposed in the middle

Погрешность нахождения податливости по формуле и в результате численного эксперимента составляет $\Delta = \frac{2.14 - 1.053}{2.14} = 50\%$, что меньше, чем по формулам из СП 335.1325800.2017.

Результаты расчета по формуле (1), формуле (11) и численного эксперимента сведены в табл.1.

Таблица 1. Результаты аналитического расчета и численного моделирования податливости вертикального стыка по направлению z

Table 1. The results of analytical calculation and numerical simulation of the ductility of the vertical joint in the z direction

№	Вид расчета	Стык с закреплением слева		Стык с закреплением посередине	
		$\lambda, \frac{M}{t} \cdot 10^6$	Погрешность, %	$\lambda, \frac{M}{t} \cdot 10^6$	Погрешность, %
1	Расчет по формуле (1)	9.58	136	9.58	376
2	Расчет по формуле (11)	2,059	49	1,053	50
3	Численное моделирование в SCAD	4.05	0	2.01	0

Как видно из п.2 и п.3 таблицы, предложенная формула, в отличие от формулы из СП 335.1325800.2017, отражает прямопропорциональную зависимость коэффициента податливости от длины стыка z.

Характер изополей перемещений также подтверждает гипотезу, что в стыках присутствует комбинация напряженного состояния сжатия и сдвига (рис. 9)

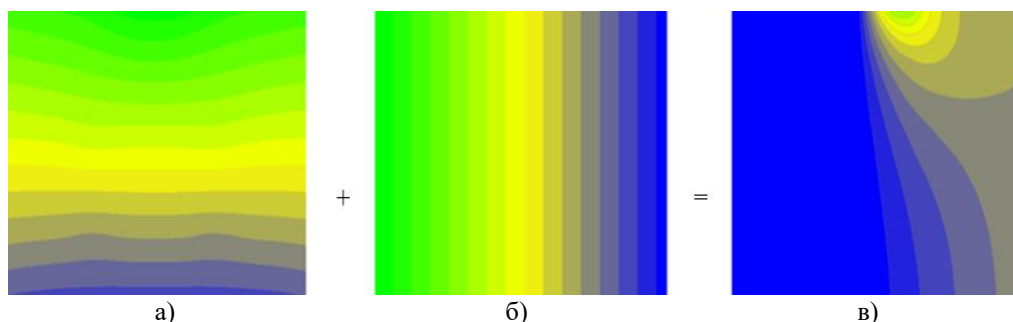


Рис. 9. Характер изополей перемещений: а - при сжатии; б - при сдвиге; в - в рассматриваемом случае
Fig. 9. The nature of the displacement isofields: a - during compression; б - during shear; в - in the case under consideration

ВЫВОДЫ

1. Обосновано, что в вертикальном стыке стеновых панелей присутствуют как деформации как сжатия, так и сдвига.

2. Предложена формула для расчета податливости по направлению оси z вертикального шпоночного соединения, применимая в случае, если высота шпонки равна межшпоночному расстоянию.

3. Показано, что погрешность расчета по предложенной формуле меньше, чем по формулам из СП 335.1325800.2017.

4. Показано, что жесткость стыка зависит от длины стыка z, то есть присутствует сдвиговая составляющая.

В результате проведенного анализа работы вертикального стыка железобетонных панелей была получена формула (11) для расчета податливости стыка в направлении оси Z. Также был проведен численный эксперимент в ПК SCAD расчета податливости для случая наложения связей слева и посередине. Сравнения численного эксперимента и расчета по формуле показало, что формула (11) дает погрешность величиной 50% в обоих случаях, что, однако, меньше, чем формула (1), которая в случае наложения связей посередине дает погрешность 376%. Требуется дальнейшая доработка формулы (11).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажко В.П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 17-21. EDN YNZFAN.

2. Малахова А.Н., Маринина Д.А. Определение податливости элементов вертикального стыка на закладных деталях крупнопанельных зданий // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. С. 123-127. EDN QWNAEY.

3. Соколов Б.С., Миронова Ю.В. Прочность и податливость вертикальных стыков стеновых панелей с использованием гибких петель // Жилищное строительство. 2014. №5. С. 60-62. EDN SFMQUN.

4. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Совершенствование методики расчета комбинированных стыков панелей зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. №1 (14). С. 81-89. EDN JUCYZT.

5. Соколов Б.С., Седов А.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния горизонтальных стыков панелей зданий для их усиления // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2008. Т.4. №2. С.123-124. EDN MOTWUR.

6. Соколов Б.С., Седов А.И. Автоматизированный программный комплекс для проектирования комбинированных стыков панелей крупнопанельных зданий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2(28). С. 97-101. EDN SPCMZR.

7. Водопьянов Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК Лира-САПР // Жилищное строительство. 2017. №3. С. 42-48.

8. Губченко В.Е. Работа с инструментом «Стык» ПК ЛИРА-САПР // Жилищное строительство. 2018. № 3. С. 30-35. EDN YVVSXFU.

9. Zhou Xuhong, Xu Tianxiang, Liu Jiepeng, Wang Xuanding, Chen Y. Frank Seismic performance of concrete-encased column connections for concrete filled thin-walled steel tube piers // Engineering Structures. 2022. №269(2). С. 114803.

10. Allan B.F., Chen S.K., Henry R.S., Ingham J.M. Experimental Testing of Concrete Panel Connections // The New Zeland Concrete Industry Conference 2012, Claudelands, Hamilton 11-13 October.

ОБ АВТОРАХ

Анна Андреевна Цветкова – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: annatsvetkova2014@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Tsvetkova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: annatsvetkova2014@mail.ru

УДК 69.002.5

ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Д.А. Согоян

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. При строительстве зданий и сооружений не обойтись без специальной строительной техники, которая требуется практически для всех видов строительных работ: от подготовки бетонного раствора до требующих большого внимания и осторожности высотных работ. Выполнение различных строительных работ возможно благодаря особенностям каждого из видов строительной техники. В статье показаны проблемы высотного строительства в России: недостаток опыта в проектировании и строительстве подобных сооружений, размещение высотных зданий среди существующей городской застройки, пожарная безопасность, несовершенство существующей нормативной базы. Представлено текущее состояние рынка строительной техники в России. Описаны некоторые существующие подходы к формированию оптимальной структуры парка строительных машин. Предложено при формировании оптимальной структуры парка строительных машин использовать средства оптимизационного моделирования.

Ключевые слова: строительные машины, механизация работ, башенный кран, ножничный подъемник, мачтовый подъемник, высотное строительство, высотные здания, уникальные здания, строительные конструкции, оптимизационное моделирование.

Ссылка для цитирования: Согоян Д.А. Виды строительных машин и оборудования в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 34-40. EDN: LFCQGW

TYPES OF CONSTRUCTION MACHINERY AND EQUIPMENT IN HIGH-RISE CONSTRUCTION

D.A. Sogoyan

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. During the construction of buildings and structures, one cannot do without special construction equipment, which is required for almost all types of construction work: from the preparation of concrete mortar to high-altitude work requiring great attention and caution. The performance of various construction works is possible due to the peculiarities of each type of construction equipment. The article shows the problems of high-rise construction in Russia: lack of experience in the design and construction of such structures, placement of high-rise buildings among the existing urban development, fire safety, imperfection of the existing regulatory framework. The current state of the construction equipment market in Russia is presented. Some existing approaches to the formation of the optimal structure of the construction machinery fleet are described. It is proposed to use optimization modeling tools when forming the optimal structure of the fleet of construction machines.

Keywords: construction machines, work mechanization, tower crane, scissor lift, mast lift, high-rise construction, high-rise buildings, unique buildings, building structures, optimization modeling.

For citation: Sogoyan D.A. Types of construction machinery and equipment in high-rise construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.4 (9). Pp. 34-40. EDN: LFCQGW

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в мире наблюдается устойчивый рост городского населения. В том числе и по этой причине интерес к высотному строительству постоянно возрастает. Строительство высотных зданий - технически сложный процесс, который требует больших финансовых затрат, современных технологий, высокой квалификации работников. Высотные здания и небоскребы строятся во всех экономически развитых странах (США, ОАЭ и др.). Россия не является исключением. Только за последние 10 лет в нашей стране было построено свыше 25 небоскребов. Среди которых Башня Федерация, Башня Евразия, Башня Меркурий, входящие в комплекс зданий Москва-Сити (рис.1), а также самое высокое здание не только в России, но и в Европе, Лахта-Центр (рис.2), построенное в Санкт-Петербурге [1].



Рис. 1. Комплекс зданий Москва-Сити¹
Fig. 1. Complex of Moscow-City buildings



Рис. 2. Лахта-Центр²
Fig. 2. Lakhta Center

Одна из современных мировых тенденций - повышение энергоэффективности в строительстве высотных зданий [2, 3], а также поиск оптимальных решений по снижению затрат на обслуживание зданий, а кроме роста этажности зданий всё больше внимания уделяется креативным дизайнерским решениям [4]. Отдельное внимание в научных исследованиях уделяется тепловлагопереносу в ограждающих конструкциях зданий [5, 6].

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ

На основании экспертных оценок, представленных в [7-12], Репин С.В., Евтюков С.А., Чечуев В.Е., Максимов С.Е., Зазыкин А.В. привели в статье [13] данные по количественному составу парка строительных и дорожных машин, динамике продаж техники, факторов, влияющих на процессы формирования парков машин (рис.3). Анализ состояния рынка строительных машин в России авторы представили также в работе [14].

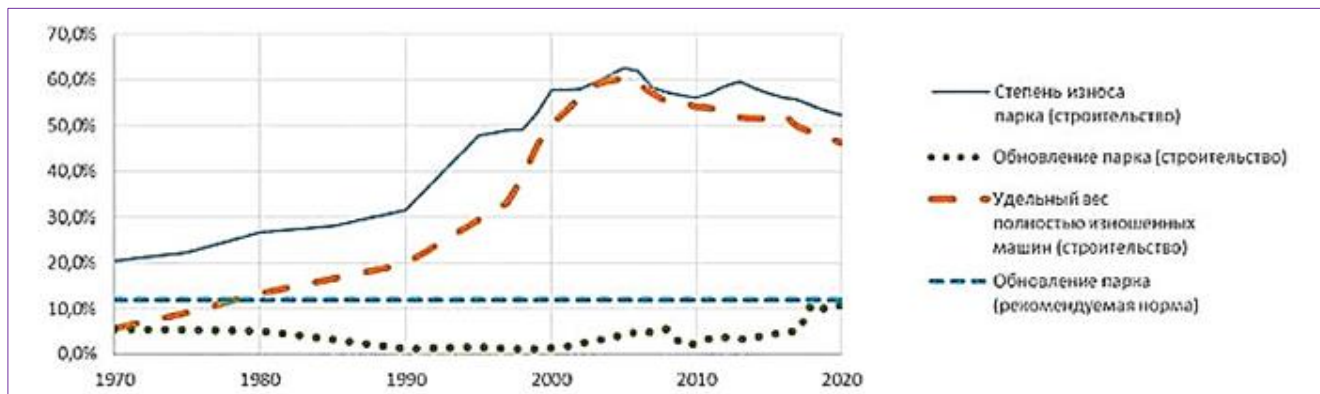


Рис. 3. Состояние парка строительных машин в РФ [13]
Fig. 3. The state of the construction machinery fleet in the Russian Federation

¹ Каково это - жить в Москва-Сити: личный опыт [Электронный ресурс]. – URL: <https://realty.ya.ru/journal/post/gorod-vnutri-goroda-kak-zhivyotsya-v-moskvesiti/> (дата обращения: 13.04.2022)

² Лахта-Центр [Электронный ресурс]. – URL: https://ic.pics.livejournal.com/masterok/50816465/2647723/2647723_original.jpg (дата обращения: 13.04.2022)

На основании проведенного анализа статистических данных Репин С.В., Евтюков С.А., Чечуев В.Е., Максимов С.Е., Зазыкин А.В. показали, что парк строительных машин формируется по следующим тенденциям: преимущественный рост продаж отечественной техники, сокращение продаж бывших в употреблении машин, а также возрастание доли лизинга и аренды [13]. Количество машин зарубежного производства составляет около 51% из общего количества типов машин. Низкий процент обновления парка машин привел к тому, что 50% машин составляют машины с истекшим сроком службы.

Авторы отмечают, что производство строительных машин в России с 1991 года снижалось, и только в последние несколько лет наметился рост выпуска некоторых видов машин – экскаваторов, автокранов, бульдозеров, автогрейдеров, машин для содержания дорог [13].

Наблюдается рост доли финансового лизинга и аренды в сфере реализации строительных машин. Это обусловлено удорожанием импортной техники, а также тем фактом, что с ростом утилизационного сбора цены на строительные машины приблизились к стоимости новых машин, из-за чего многие предприятия все чаще принимают решение в пользу покупки новой техники [13].

МЕХАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

При строительстве высотных зданий и сооружений применяются уникальные технологии, а также различное строительное оборудование. В высотном строительстве не обойтись без башенных кранов, которые используются для перемещения и доставки на высоту грузов. Здания высотой более 16 этажей делает неэффективным применение башенных кранов на рельсовом ходу. По этой причине при возведении высотных зданий зачастую применяют и краны, запроектированные для возведения именно данного здания [15].

Приставные (стационарные) башенные краны (рис. 4) применяют при строительстве высотных зданий (высотой 150 м и более). Увеличение высоты башни кранов осуществляется методом подращивания снизу или методом наращивания сверху промежуточными секциями, длина которых составляет 2,5-7 м. При наращивании башни две крайние верхние секции крепят к монтажной стойке и расстыковывают между собой. Предварительно промежуточная секция поднимается крюковой подвеской и навешивается на выдвижную раму. Башня крана крепится к зданию с помощью закладных рам, монтируемых между двумя секциями.

У башенных кранов, башня которых охвачена порталом, применяют метод подращивания секций башни снизу, при котором очередная промежуточная секция заводится снизу, пристыковывается к башне и с помощью монтажной лебедки выдвигается вверх.

Самоподъемные краны изготавливаются грузоподъемностью до 15 т с грузовым моментом до 3300 кНм. Вертикальное перемещение крана осуществляется следующим образом (рис.5). Башня крана (1) опирается на опорные балки с откидными упорами (3) и охватывается вертикально подвижной обоймой (2), также снабженной откидными упорами (4), но в другой плоскости. Специальной лебедкой (5) обойма снимается с упоров и поднимается на высоту двух этажей и вновь устанавливается на упоры. После этого башня и опорные балки снимаются со своих упоров, подтягиваются на высоту двух этажей и устанавливаются на каркас здания. Демонтаж крана ведется в обратной последовательности.

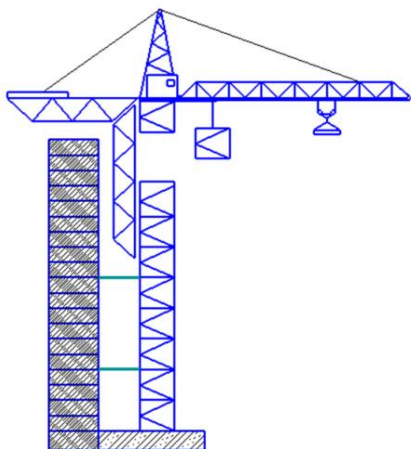


Рис.4. Приставной (стационарный) кран [15]
Fig. 4. Attached (stationary) crane

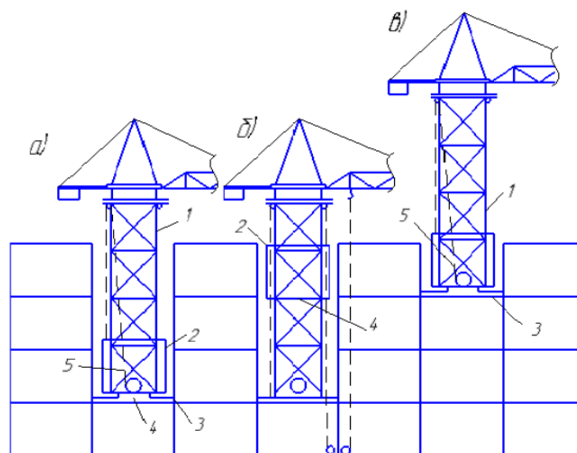


Рис.5. Схема перемещения самоподъемного крана: а – исходное положение; б – подъем обоймы; в – подъем крана [15]
Fig. 5. Scheme of movement of a self-elevating crane: a - initial position; b - lifting the clip; c - crane lifting

Основное преимущество этих кранов в том, что подъемное устройство крепится на специальной башенной системе, которая «растет» вместе с увеличением высоты строящегося здания («ходит» вверх по зданию). Кроме того, самоподъемные краны позволяют осуществлять монтаж зданий в стесненных условиях. Выбор типов, числа и схемы расстановки самоподъемных кранов зависит от массы монтажных элементов, конфигурации и размеров здания в плане, а также по высоте с учетом того, что сфера их действия должна полностью охватывать необходимую рабочую зону крана.

При строительстве высотных зданий подготовительный период включает подготовку площадки, доставку, разгрузку, сортировку и разметку материалов и элементов, их укрупнительную сборку, подачу к месту монтажа, сборку и подъем башенного крана для высотных работ в исходное положение, выполнение работ до нулевого цикла и т. д. Поэтому при возведении подземной части высотного здания иногда бывает рациональнее использовать в качестве грузоподъемного оборудования стреловые передвижные краны, а для дальнейшего монтажа каркаса – приставные или самоподъемные.

Также для высотного строительства обязательно пригодятся строительные подъемники. Это средство механизации вертикальных грузовых или грузопассажирских потоков на строительном объекте. Является разновидностью грузоподъемных машин и применяется при возведении, главным образом, высотных зданий и сооружений. Существует множество типов и один из них - это ножничные подъемники (рис.3).

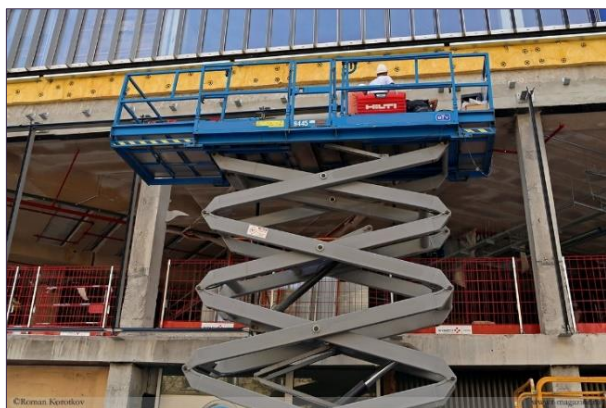


Рис. 3. Ножничный подъемник³
Fig. 3. Scissor lift



Рис. 4. Мачтовый подъемник⁴
Fig. 4. Mast lift

Характерная особенность ножничного подъемного устройства – наличие системы скрещивающихся рычагов, как правило, одинаковой длины, на которую опирается рабочая платформа. Основными вышками при отделочных, ремонтных, строительномонтажных работах являются мачтовые подъемники (рис.4).

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Правильно подобранный для конкретного строительного проекта монтажный кран в значительной степени способствует его эффективности, своевременности и прибыльности. Познахирко Т.Ю. [16] предлагает экономико-математическую модель выбора оптимального комплекта машин для строительства в заданный срок. Предложенное решение позволяет рассчитать несколько вариантов различными комплектами строительномонтажных машин и методами организации монтажа и выбрать вариант с наименьшими суммарными затратами.

Отсутствие или избыток машин для производства строительномонтажных работ (строительномонтажных работ) в строительных организациях существенно влияет на экономические показатели их эксплуатации. Темпы и качество строительномонтажных работ, производительность труда во многом зависят как от технического уровня средств механизации, так и от степени обеспеченности объектов строительства машинами (уровня механизации труда). При определении потребности в машинах для строительства следует учитывать [17]:

- Обеспечение выполнения работ на объектах в соответствии с намеченными сроками;

³ Классификация и описание строительных подъемников [Электронный ресурс]. – URL: <https://t-magazine.ru/pages/lifts/> (дата обращения: 17.04.2022)

⁴ Мачтовый подъемник GEDA MULTILIFT [Электронный ресурс]. – URL: <https://altura.ua/construction-lifts/machtovyyj-pod-ernik-geda-multilift> (дата обращения: 13.04.2022)

- повышение уровня комплексной механизации строительно-монтажных работ; - повышение производительности труда и снижение доли ручного труда;
- использование прогрессивных методов работы;
- улучшение использования существующего инженерного парка;
- обеспечение требуемых темпов обновления инженерного парка.

Расчет потребности и снабжения машин строительными организациями должен производиться с учетом реализации всего комплекса организационно-технологических и эксплуатационных мероприятий, направленных на постоянное повышение эффективности использования парка транспортных средств [17].

Все больше исследователей при формировании оптимальной структуры парка строительных машин предлагают использовать средства оптимизационного моделирования, учитывающие различные факторы и критерии оптимизации (минимальные затраты, максимальная прибыль и т.д.) [18]:

Ветрова А.В., Манжос Ю.А. и Райгородская В.С. определили экономические аспекты оптимального комплектования и использования парка дорожно-строительных машин [18]. Авторы полагают, что выбор критерия зависит от горизонта планирования, полноты данных и пр. Так, например, прибыль в качестве критериального показателя целесообразно использовать в случае оптимизации парка машин совместно с оптимизацией объемов работ, а также с оптимизацией формирования и использования других ресурсов: материалов и ручного труда или их отсутствии.

В статье [19] Мейке У.Н., Терентьев А.В. и Добромиров В.Н. представили методику обоснования предпочтений потребителя в выборе образцов строительных машин из числа представленных на рынке, разработанную на основе использования одного из методов многокритериальной оптимизации - метода районирования, предполагающего рассмотрение всех возможных вариантов приоритетов в значимости оценочных свойств.

Радаев А.Е., Павлова Н.Ю., Слепцова А.В., Глушко Д. и др. предлагают методику обоснования характеристик парка строительных машин с использованием средств стохастического программирования [20-23]. Пильник Ю.Н., Сушков С.И., Арутюнян А.Ю. в статье [24] рассматривают задачу оптимизации структуры парка транспортно-технологических машин посредством использования математических методов. Авторы приводят блок-схему алгоритма формирования оптимальной структуры парка транспортных машин, которая позволяет определить оптимальную структуру состава парка транспортно-технологических машин, исходя из типов и объемов выполняемых работ, а также затрат на эксплуатацию каждого типа транспортного средства.

Экономическую эффективность применения машин и комплектов в строительстве зданий и сооружений производят при сравнении нескольких вариантов. Алгоритм определения экономической эффективности состоит из нескольких важных этапов. Один из вариантов машин признаётся эталонным. Далее устанавливают перечень характеристик для сравнения новых вариантов машин и комплектов с эталонным. Определяют значение показателей для выполнения определённого вида работ в определенном объёме. На основе этих значений производят оценку показателей, после чего выбирают наиболее перспективный вариант. Последним этапом является определение размера затрат для каждого варианта. Основными характеристиками для сравнения вариантов машин и комплектов являются: себестоимость, трудоёмкость и продолжительность выполнения работ. Ульянов А.А., Хропов К.А. в статье [25] представили обоснование экономической целесообразности подбора строительных машин.

Березина Ю.И. и Бочкарева Т.М. [26] предлагают для определения оптимального комплекса машин для производства строительных работ использовать метод сетевого графа Дейкстры, в качестве критерия оптимизации выбраны приведенные затраты. Выполнено сравнение времени производства работ с применением ручных инструментов и средств механизации, средств подмащивания, монтируемых вручную, самоходного ножничного подъемника, просчитана экономическая выгода при замене ручного труда машинным.

Исследователи полагают, что дальнейшая работа должна вестись по следующим направлениям [18]: формирование информационной базы анализа и планирования эксплуатации строительных машин, учет в экономико-математических моделях факторов, наиболее полно учитывающих условия эксплуатации техники, а также определение степени влияния различных факторов на значение основного критерия оптимизации.

Комплексный подход к формированию парка машин с учетом показателей энергоэффективности предложен в работе [27], которые позволят не только сократить затраты за счет экономии топлива, смазочных материалов и т.д., но и улучшить экологическую ситуацию в зоне производства работ.

Одновременно с повышением конкурентоспособности строительной отрасли заинтересованность компаний в современной энергоэффективной технике позволяет развивать и тяжелое машиностроение с рядом смежных отраслей, что также положительно отражается на экономической ситуации в стране в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Престижность расположения офисов ведущих компаний в таких зданиях, низкий уровень шума, отсутствие смога на верхних этажах, довольно эстетичный вид из окна небоскреба – всё это несомненные преимущества высотного строительства.

Несмотря на ежегодный рост количества высотных зданий, эта сфера строительства требует дальнейших исследований, появления новых технологий, а также обеспечение высотного строительства современными видами строительных машин и оборудования. При проектировании высотных зданий нужно принимать экономически оправданные технические решения, которые при этом не должны снижать надежность сооружения и превращать его в источник повышенной опасности для людей и окружающей среды.

Все больше исследователей при формировании оптимальной структуры парка строительных машин предлагают использовать средства оптимизационного моделирования. В частности, уже есть методики обоснования выбора образцов строительных машин, разработанные на основе методов многокритериальной оптимизации, средств стохастического программирования и др.

Формирование оптимальной структуры парка строительных машин весьма важный вопрос, т.к. правильно подобранная для конкретного строительного проекта строительная техника и оборудование будут способствовать его эффективности, своевременности и прибыльности.

В качестве направления дальнейших исследований предполагается проведение расчетов по формированию оптимальной структуры парка строительных машин для строительных компаний Санкт-Петербурга и разработка рекомендаций по выбору экономико-математических методов с учетом структуры парка машин конкретной организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 27-36. DOI: 10.34910/ALF.8.3 EDN: FMHJEJ
2. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Thermal regime of enclosing structures in high-rise buildings // Vestnik MGSU. 2018. Т. 13. № 8 (119). С. 935-943. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.8.935-943 EDN: XZHZN
3. Gamayunova O., Petrichenko M., Musorina T., Gumerova E. Feasibility study of the insulation of the enclosing walls of high-rise buildings // MATEC Web of Conferences. 2018. P. 06006. DOI: 10.1051/mateconf/201824506006 EDN: GGEANI
4. Иванова П.В., Григорян М.Н. Современные тенденции в проектировании и строительстве высотных зданий // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 176. EDN: EAGXMV
5. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_26 EDN: HSLOOO
6. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Graphical method for determination of maximum wetting plane position in enclosing structures of buildings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». 2020. С. 022046. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022046 EDN: MCCAHN
7. Repin S., Zazykin A., Maksimov S. Improving operational safety of transport and handling machinery based on automobile chassis by forming fleets of machinery with specific level of reliability // Transportation Research Procedia. «14th International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities, OTS 2020». 2020. С. 582-590. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.070 EDN: EFZTIJ
8. Repin S., Maximov S., Zazykin A., Voropaev N. Development of strategy for ensuring operability of transport and technological machines // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 03046. DOI: 10.1051/e3sconf/202016403046 EDN: MMQKIG
9. Repin S.V., Roulis K.V., Bardyshev O.A., Druginin P.V. Method of ensuring efficient operation of transport and technological machines at construction sites // Proceedings of the 12th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction, ICCPAC 2020. 12. 2021. Pp. 263-267. EDN: YXDMLZ
10. Repin S., Zazykin A., Gordienko V. Method of forming a fleet of transport and technological machines for road construction // Transportation Research Procedia. 2018. Pp. 654-660. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.131 EDN: VTCJLM
11. Repin S., Evtukov S., Maksimov S. A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety // Transportation Research Procedia. 2018. Pp. 661-668. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.128 EDN: WUSWRS

12. Repin S., Evtuykov S. Technique for ensuring safety of transportation vehicles through the analysis of their structural reliability // MATEC Web Conf. The VI International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2020). 2021. Vol. 334. P. 01011. DOI: 10.1051/mateconf/202133401011
13. Репин С.В., Евтюков С.А., Чечуев В.Е., Максимов С.Е., Зазыкин А.В. Состояние и тенденции развития рынка дорожно-строительной техники в России // Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). С. 26-31. EDN: HRKKUT
14. Репин С.В., Чечуев В.Е., Грушецкий С.М., Евтюков С.А. Анализ состояния рынка строительных машин в России // Строительные и дорожные машины. 2021. № 9. С. 11-13. EDN: DMVJDE
15. Руденко А.А., Ушакова Е.А. Инновационные технологии возведения высотных зданий: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2020. 106 с. ISBN 978-5-8259-1489-3.
16. Познахирко Т.Ю. Выбор комплекта машин для возведения объекта в заданный срок // Строительное производство. 2021. № 1. С. 33-38. DOI: 10.54950/26585340_2021_1_33 EDN: OVRRYN
17. Логунова Е.А., Додонова М.А. Особенности формирования парка строительных машин // В сборнике: Качество в производственных и социально-экономических системах. сборник научных статей 10-й Международной научно-технической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск, 2022. С. 243-245. EDN: UXKTRM
18. Ветрова А.В., Манжос Ю.А., Райгородская В.С. Экономические аспекты оптимального комплектования и использования парка дорожно-строительных машин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2017. № 2 (12). С. 13. EDN: YTXHGJ
19. Мейке У.Н., Терентьев А.В., Добромиров В.Н. Исследование возможности применения метода районирования для выбора дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2022. № 6. С. 26-31. EDN: CGIMXE
20. Павлова Н.Ю., Радаев А.Е. Обоснование характеристик парка строительных машин с использованием средств стохастического программирования // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. С. 440-443. EDN: OVXXUZ
21. Glushko D., Pavlenko A., Radaev A., Rajczyk J. Determination of the Characteristics for the Construction Machinery Fleet with Application of Fractional Linear Optimization // Proceedings of EECE 2020: Energy, Environmental and Construction Engineering, St. Petersburg, Russia, Cham: Springer, 2021. Pp. 441-453. EDN: WSUBEW
22. Радаев А.Е., Слепцова А.В. Оптимизационная модель обоснования характеристик парка строительных машин по фронтам работ в условиях Крайнего Севера // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 33. С. 1447-1453. EDN: TKOOJG
23. Спицкая А.Ш., Радаев А.Е. Обоснование характеристик комплектов строительных машин с применением элементов теории систем массового обслуживания // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 198-200. EDN: EKEUTK
24. Пильник Ю.Н., Сушков С.И., Арутюнян А.Ю. Методика определения оптимальной структуры парка транспортно-технологических машин // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 125. EDN: UZIZQF
25. Ульянов А.А., Хропов К.А. Обоснование экономической целесообразности подбора строительных машин // Экономика и эффективность организации производства. 2018. № 28. С. 82-85. EDN: YOOZKX
26. Березина Ю.И., Бочкарева Т.М. Оптимальный комплекс машин для производства армокаменных работ при возведении противопожарной стены промышленного здания // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2022. Т. 1. С. 294-300. EDN: AFNVCD
27. Прохоров С.В. Комплексный подход к формированию машинных парков с учетом показателей энергоэффективности // Жилищное строительство. 2018. № 5. С. 29-33. EDN: XQKXGH

ОБ АВТОРАХ

Давид Ашотович Согоян – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: sogoyan.da@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

David A. Sogoyan – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: sogoyan.da@edu.spbstu.ru