

УДК 351.862.216.2, 614.8

ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗАЩИТНЫХ ДАМБ МЕТОДОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ

Ткаченко Юлия Анатольевна, Тимарин Алексей Николаевич
Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы повышения эффективности строительства временных защитных дамб при ликвидации последствий паводковых наводнений. Особое внимание уделяется анализу организационно-технологических аспектов проведения аварийно-спасательных работ и других неотложных работ с применением методов параллельного выполнения операций. Авторами проведено комплексное исследование, включающее практические эксперименты по определению временных затрат на различных этапах возведения защитных сооружений (дамб). Результаты исследования демонстрируют существование принципиальных ограничений в сокращении сроков выполнения работ даже при значительном увеличении количества задействованного личного состава. Это обусловлено наличием обязательных последовательных операций, которые невозможно распараллелить. В работе предложен инновационный подход к планированию спасательных операций, основанный на применении современных алгоритмов распределения задач и оптимизации рабочих процессов. Особую ценность представляет разработанная методика расчета временных параметров, учитывающая как технологические особенности строительства защитных сооружений, так и организационные аспекты управления спасательными формированиями. Полученные выводы имеют важное практическое значение для совершенствования системы реагирования на паводковые угрозы и могут быть использованы при обновлении нормативно-методической базы в области защиты населения и территории от наводнений.

Ключевые слова: наводнения, параллельные методы, теория расписаний, оптимизация процессов

Для цитирования: Ткаченко Ю. А., Тимарин А. Н. Подходы к оптимизации временных показателей при строительстве быстровозводимых защитных дамб методом параллельного выполнения задач // Техносферная безопасность. 2025. № 3 (48). С. 92–98.

APPROACHES TO OPTIMIZING TIME INDICATORS IN THE CONSTRUCTION OF FAST-MOVING PROTECTIVE DAMS BY PARALLEL TASK EXECUTION

Yulia A. Tkachenko, Aleksey N. Timarin
Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

Abstract. This article examines current issues related to improving the efficiency of constructing temporary protective dams during flood response operations. Particular attention is given to analyzing organizational and technological aspects of conducting emergency rescue and other urgent operations using parallel processing methods. The authors conducted comprehensive research involving practical experiments to determine time requirements for various stages of protective structure (dam) constructions. The research results demonstrate fundamental limitations in reducing operational timelines even with significant increases in personnel numbers. This is due to the presence of essential sequential operations that cannot be parallelized. The study proposes an innovative approach to planning rescue operations, based on modern task distribution algorithms and work process optimization. Of particular value is the developed methodology for calculating time parameters, which considers both technological features of protective structure construction and organizational aspects of rescue team management. The findings have significant practical implications for improving flood response systems and can be used to update regulatory and methodological frameworks in the field of population and territory protection against floods.

Keywords: floods, parallel methods, schedule theory, process optimization

For Citation: Tkachenko Yu. A., Timarin A. N. Approaches to optimizing time indicators in the construction of fast-moving protective dams by parallel task execution // *Technospheric safety*. 2025. № 3 (48). pp. 92–98.

Введение

Последние годы были отмечены рядом чрезвычайных ситуаций, продемонстрировавших, что практика градостроительной деятельности зачастую осуществляется без должного соблюдения стандартов и нормативных актов, направленных на обеспечение безопасности населения, объектов инфраструктуры и прилегающих районов от наводнений [1].

Между тем от паводковых наводнений в настоящее время наблюдается наибольший ущерб. Меры, предпринимаемые для подготовки и сопровождения паводкового сезона с целью минимизации потенциальных рисков, разделяются на два основных типа: заблаговременные меры и оперативные меры [2, 3].

Основная часть

Проведенный анализ существующего научно-методического аппарата в части планирования и обоснования мероприятий минимизации потенциальных рисков в период паводкоопасного сезона показал, что они сосредоточены на проблемах мониторинга и прогнозирования паводковой ситуации [4–6], тогда как аспекты оперативного реагирования зачастую остаются вне поле зрения.

В то же время существует потребность в обеспечении реализации комплексного подхода, учитывающего тесную взаимосвязь между мерами как профилактического, так и оперативного характера. В ряде исследований, направленных на изучение процесса развития наводнений [6–8], отмечается, что точный и своевременно предоставляемый

прогноз позволяет заранее планировать мероприятия для защиты населения и территорий, подверженных риску затопления.

Эти мероприятия должны разрабатываться и реализовываться с учетом частотности возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных паводковыми явлениями, их источниками, прогнозируемого экономического ущерба на основании статистической информации, а также возможностей задействованных группировок сил и средств для предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. В данной работе предлагается учесть влияние на величину ущерба такого фактора, как производительность личного состава и применяемых аварийно-спасательных ресурсов при выполнении оперативных мероприятий минимизации потенциальных рисков в паводкоопасный сезон.

Однако стоит отметить, что ранее действующие методики [9, 10] потеряли свою юридическую силу и не отражали изменений в технологиях осуществления оперативных мер по защите от наводнений и возможностей современного спасательного оборудования. Более того, методика [10] не включает оценку трудовых затрат на строительство быстро возводимых защитных дамб, а соответствующие нормы не закреплены нормативными правовыми актами.

В исследовании [11], посвященном анализу результатов натурного эксперимента, были определены временные показатели, характеризующие возможности группировки сил и средств при строительстве быстро возводимых временных защитных дамб. В ходе эксперимента производилась оценка трудозатрат на различных этапах работ при возведении водозащитных дамб. Полученные данные позволили собрать эм-

пирическую базу для формирования нормативов временных затрат при проведении оперативных мероприятий для минимизации площади зон затопления возведением водозащитных дамб.

В результате эксперимента были получены следующие результаты, которые могут быть использованы для обновления нормативных документов и создания методик:

- время, затраченное на заполнение 30 мешков песком: вариант 1 (совковая лопата) — 27 минут, вариант 2 (штыковая лопата) — 31 минута;
- перенос мешков на 20 метров вручную: один спасатель — 15 минут, два спасателя — 7–8 минут;
- перенос мешков на 40 метров вручную: один спасатель — 30 минут, два спасателя — 15 минут;
- возведение дамбы в один ряд: один спасатель — 27 минут, два спасателя — 14 минут;
- возведение дамбы в два ряда: один спасатель — 54 минуты, два спасателя — 28 минут.

Тогда можно предположить, что при подходе параллельных работ время сократится пропорционально количеству людей, т. е. при проведении практического эксперимента с параллельным проведением работ с количеством участников 20, переносом мешков на 40 метров вручную, возведение дамбы в два ряда, время на выполнение работ должно сократиться в 20 раз. Однако в реальности это заняло 10,83 минуты. Другими словами, ускорение выполнения всех видов работ произошло не пропорционально количеству человек, а приблизительно в 10,25 раз.

В теории параллельных вычислений существует противоречие между ожидаемым

ускорением процесса за счет увеличения числа участников и ограничениями, накладываемыми законом Амдала [12]. Это противоречие проявляется в следующих аспектах:

- теоретически увеличение числа участников, выполняющих задачи параллельно, должно пропорционально сокращать время на выполнение работы.

В нашем случае ожидаемое время выполнения работ должно составлять около 5,5 минут;

- закон Амдала [13] утверждает, что ускорение процесса ограничено долей последовательных операций (α), которые не могут быть распараллелены.

Формула ускорения (1):

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}}, \quad (1)$$

где:

S — ускорение;

p — число участников;

α — доля последовательных операций.

Если $\alpha > 0$, то ускорение не может превышать $1/\alpha$, независимо от количества участников.

В реальных условиях при увеличении числа участников время выполнения работ не сократилось пропорционально из-за необходимости координации, распределения людей и наличия последовательных этапов.

Отсюда вытекает противоречие: с одной стороны, теория параллельных вычислений предполагает, что увеличение числа участников должно пропорционально сокращать время выполнения задач; с другой стороны, закон Амдала указывает на фундаментальное ограничение увеличения производительности из-за наличия последовательных операций. Это создает противоречие между ожидаемым результатом и реальными показателями производительности процесса возведения водозащитных дамб (2)–(6):

$$10,25 = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{20}}. \quad (2)$$

$$\alpha + \frac{1-\alpha}{20} = \frac{1}{10,25}. \quad (3)$$

$$\alpha + 0,05 - 0,05\alpha = 0,0976. \quad (4)$$

$$0,95\alpha = 0,00024. \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{0,00024}{0,95} \approx 0,05. \quad (6)$$

Противоречие между ожидаемым повышением производительности группировки за счет увеличения числа участников и ограничениями закона Амдала подчеркивает не-

обходимость учета доли последовательных операций при планировании параллельных процессов, т. к. расчетная доля последовательных операций составляет $\alpha \approx 0,05$, это

показывает, что примерно 5 % работ не могут быть распараллелены.

Выводы

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что противоречие между ожидаемым увеличением производительности при увеличении числа участников и ограничениями закона Амдала можно решить с помощью методов теории расписаний, которые позволяют оптимизировать распределение задач и минимизировать влияние последовательных операций.

Тогда целью будет являться такое распределение задач между участниками, что-

бы общее время выполнения работ было минимальным.

Для этого в качестве методов предлагаются к использованию «жадные алгоритмы», которые позволят распределить задачи на основе текущей загрузки участников, «алгоритмы балансировки нагрузки», которые позволят равномерно распределить задач для минимизации простоев. Последовательные операции могут быть выделены в отдельные этапы и оптимизированы по отдельности путем разбиения задачи на подзадачи, которые могут выполняться независимо. Таким образом, теория расписаний позволит минимизировать долю последовательных операций за счет оптимизации распределения задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / В. В. Разумов [и др.]. М., 2018. 364 с.
2. Вакорин М. В., Письменский Н. В., Ткаченко П. Н. Постановка научной задачи обоснования рационального комплекса мероприятий для снижения ущерба от наводнений на реках со снежным типом формирования речного стока // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (43). С. 63–71.
3. Григоренко П. А., Ткаченко П. Н. Предупредительные мероприятия по обеспечению безопасности людей на водных объектах // Совершенствование единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны Российской Федерации на современном этапе : сб. трудов XXX Международной научно-практической конференции / науч. ред. П. Н. Ткаченко, Н. В. Письменский. Химки, 2020. С. 40–44.
4. Добровольский С. Г., Истомина М. Н. К разработке концепции «управления ущербами» от наводнений в Российской Федерации // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2016. Т. 6, № 1 (10). С. 30–36.
5. Анализ научно-методических подходов к прогнозированию заторных явлений в Томской области / Ю. А. Ткаченко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (53). С. 29–37.
6. О модели прогнозирования подъема уровня паводковых вод, вызванных весенним половодьем, на основе анализа больших данных / А. В. Рыбаков [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 48–57.

7. Structural flood-protection measures referring to several European case studies / S. Schnabl et al. // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. № 14. pp. 135–142.
8. Анализ проблемной ситуации повышения готовности муниципальных образований к защите от наводнений / С. А. Морозов [и др.] // *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 2 (45). С. 104–109.
9. Наставление по организации и технологии ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при чрезвычайных ситуациях. Часть 3. Организация и технология ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при наводнениях и катастрофических затоплениях. М., 2001. 165 с.
10. Методика расчета средств для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ при наводнениях и катастрофических затоплениях // Судебные и нормативные акты РФ : сайт. URL: <https://clck.ru/3NtJpN> (дата обращения: 26.03.2025).
11. Результаты натурного эксперимента по определению временных показателей при сооружении быстровозводимых временных защитных дамб / Е. В. Иванов [и др.] // *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. 2024. № 4 (63). С. 54–64.
12. Hennessy J. L., Patterson D. A. *Computer Architecture: A Quantitative Approach*. San Francisco, 2017. 936 p.
13. Gustafson J. L. Reevaluating Amdahl's Law // *Communications of the ACM*. 1988. Vol. 31, № 5. pp. 532–533.

REFERENCES

1. Scale and Danger of Floods in Russian Regions / V. V. Razumov et al. М., 2018. 364 p.
2. Vakorin M. V., Pismenskiy N. V., Tkachenko P. N. Formulating the Scientific Problem of Substantiating Rational Measures to Reduce Flood Damage in Rivers with Snowmelt-Driven Runoff Formation // *Scientific and Educational Problems of Civil Protection*. 2019. № 4 (43). pp. 63–71.
3. Grigorenko P. A., Tkachenko P. N. Preventive Measures to Ensure Safety on Water Bodies // *Improving the Unified State System of Emergency Prevention and Response and Civil Defense of the Russian Federation at the Present Stage : proceedings of the XXX International Scientific-Practical Conference*. Khimki, 2020. pp. 40–44.
4. Dobrovolsky S. G., Istomina M. N. Towards Developing a Concept of «Damage Management» from Floods in the Russian Federation // *Civil Protection Strategy: Problems and Research*. 2016. Vol. 6, № 1 (10). pp. 30–36.
5. Analysis of Scientific-Methodological Approaches to Forecasting Ice Jam Phenomena in Tomsk Region / Yu. A. Tkachenko et al. // *Scientific and Educational Problems of Civil Protection*. 2022. № 2 (53). pp. 29–37.
6. On a Model for Forecasting Flood Water Level Rise Caused by Spring Floods Based on Big Data Analysis / A. V. Rybakov et al. // *Modern Problems of Civil Protection*. 2022. № 4 (45). pp. 48–57.
7. Structural flood-protection measures referring to several European case studies / S. Schnabl et al. // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. № 14. pp. 135–142.

8. Analysis of Problematic Situation in Improving Municipal Readiness for Flood Protection / S. A. Morozov et al. // Scientific and Educational Problems of Civil Protection. 2020. № 2 (45). pp. 104–109.

9. Manual on Organization and Technology of Emergency Rescue and Other Urgent Works During Emergencies. Part 3. Organization and Technology of Emergency Rescue and Other Urgent Works During Floods and Catastrophic Inundations. M., 2001. 165 p.

10. Methodology for Calculating Resources Needed for Emergency Rescue and Other Urgent Works During Floods and Catastrophic Inundations. URL: <https://clck.ru/3NtJpN> (date of application: 26.03.2025).

11. Results of Field Experiment on Determining Time Parameters for Rapid Construction of Temporary Protective Dams / E. V. Ivanov et al. // Scientific and Educational Problems of Civil Protection. 2024. № 4 (63). pp. 54–64.

12. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. San Francisco, 2017. 936 p.

13. Gustafson J. L. Reevaluating Amdahl's Law // Communications of the ACM. 1988. Vol. 31, № 5. pp. 532–533.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ткаченко Юлия Анатольевна, канд. техн. наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); РИНЦ ID: 1100141; e-mail: yu.tkachenko@agz.50.mchs.gov.ru

Тимарин Алексей Николаевич, соискатель ученой степени канд. техн. наук преподаватель кафедры оперативного управления мероприятиями РСЧС и ГО Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); РИНЦ ID: 1111605; e-mail: a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yulia A. Tkachenko, Cand.Sci. (Eng.), junior researcher at the Research Department, Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia (Sokolovskaya, 1A, Khimki, 141435 Russian Federation); ID RISC: 1100141; e-mail: yu.tkachenko@agz.50.mchs.gov.ru

Aleksey N. Timarin, Candidate of Sciences (PhD equivalent) in Engineering, lecturer of the Department (Operational Management of Emergency Situations and Civil Defense), Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia (Sokolovskaya, 1A, Khimki, 141435 Russian Federation); ID RISC: 1111605; e-mail: a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru

Поступила в редакцию 14.04.2025
Одобрена после рецензирования 01.07.2025
Принята к публикации 15.09.2025