

МОДЕЛЬ АБОНЕНТСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ТОЛЕРАНТНЫХ К ЗАДЕРЖКАМ СЕТЕЙ

Царев А.А., Привалов А.Ю.

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, г. Самара, РФ
E-mail: al-xandr1@yandex.ru

Предлагается модель абонентской мобильности, предназначенная для имитационного моделирования сетей, толерантных к задержкам, где узлами являются носимые мобильные устройства с малым радиусом действия встроенного приемопередатчика. Модель отражает такие важные для характеристик работы этих сетей черты реальной мобильности, как распределение Леви длин переходов и кластеризация точек останова. Главной характеристикой мобильности, которая используется для проверки адекватности модели, является распределение времени между контактами (наличием канала связи) произвольной пары узлов сети. По сравнению с известными моделями мобильности, предназначенными для моделирования сетей, толерантных к задержкам, предлагаемая модель требует для работы меньше информации о моделируемой ситуации при достаточно хорошем приближении распределения времени между контактами. Приведены результаты сравнения работы предлагаемой модели с моделями аналогичного назначения и реальными данными.

Ключевые слова: имитационное моделирование, мобильные самоорганизующиеся сети, толерантные к задержкам сети, модели абонентской (человеческой) мобильности

Введение

Толерантные к задержкам сети (DTN-сети), являющиеся частным случаем сетей MANET – беспроводных децентрализованных самоорганизующихся сетей, состоящих из мобильных устройств, в настоящее время представляют одно из бурно развивающихся направлений в области систем связи и передачи информации. Вследствие большой сложности подобного вида систем основным инструментом для оценки их характеристик на этапе проектирования является имитационное моделирование, и проблема построения адекватной модели чрезвычайно важна.

Архитектуры DTN – это подход к построению сетей, толерантных к задержкам и частым обрывам связи [1]. Типичной для них является ситуация, когда между отправителем и получателем информации вообще никогда не возникает канала связи, и потому их основной принцип – это «Store-Carry-Forward» («Сохранил – Перенес – Передал»). Очевидно, что ключевое значение для характеристик данного типа сетей имеют характеристики подвижности сетевых узлов. Поэтому при моделировании такого рода сетей адекватность используемой модели мобильности узлов является решающим фактором, влияющим на качество моделирования и на ценность получаемых при этом результатов.

Одной из лучших в смысле адекватности моделей абонентской мобильности в настоящее время считается модель SLAW (Selfsimilar Least Action Walks), предложенная в [2]. Она предназначена для ситуаций, когда узлами DTN сети являются носимые людьми мобильные устройства

с малым радиусом действия встроенного приемопередатчика, и хорошо описывает такие важные черты человеческой мобильности, как распределение Леви для длин переходов, кластеризация точек остановок и самоподобный характер распределения точек остановок на плоскости ([2], [3]). Это приводит к тому, что распределение вероятностей для времени между контактами пары узлов (ICT – Inter-Contact Time), являющейся одной из главных характеристик, по которой судят об адекватности модели подвижности для моделирования работы сети DTN, у нее одна из самых близких к измеренной на реальных сетях. Однако у модели типа SLAW имеется существенный практический недостаток: для ее запуска требуется весьма большое количество информации, которую можно получить только с реально работающей сети, которую надо смоделировать.

В данной работе мы предлагаем гибридную модель подвижности, которая сочетает черты модели SLAW и модели случайных блужданий Леви. Предложенная модель практически не требует информации, которую можно получить только с работающей сети, и при этом приближает распределение вероятностей ICT лишь немного хуже, чем SLAW. Кроме того, работу гибридной модели можно использовать для получения необходимой для модели SLAW информации, при этом результаты запуска SLAW с полученными таким образом параметрами тоже оказываются лишь немного хуже, чем при использовании реальных данных. В следующем разделе мы опишем модель SLAW и предлагаемую гибридную модель, так как у них много общего.

Модели абонентской мобильности

Для разумного упрощения описания модели, реальное движение объекта (человека) представляется как совокупность прямолинейных переходов и пауз между ними. Паузы происходят в так называемых путевых точках. Известно [4], что расстояние между точками реальных перемещений, а также время паузы в путевых точках, имеют распределения вероятностей, близкие к распределению Леви.

Плотность распределения Леви с числовыми параметрами c и α в элементарных функциях не выражается, ее Фурье-образ есть [5]

$$f_x(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-itx - |ct|^\alpha) dt. \quad (1)$$

Модель движения, где узел каждый шаг выбирает направление согласно равномерному распределению по углу, длину перехода и время паузы после перехода согласно распределению Леви, называется случайным блужданием Леви, она является одной из популярных моделей человеческой мобильности [5]. Однако кластеризацию и самоподобное расположение путевых точек эта модель не отражает.

Модель SLAW отражает указанные черты, но требует наличия данных о реальных перемещениях узлов на территории, занимаемой моделируемой сетью. Сначала необходимо преобразовать данные о реальной мобильности, представляющие, как правило, отметки GPS-координат узлов через равные промежутки времени (как правило, 30 с), в последовательность путевых точек и переходов между ними.

Будем считать, что у нас есть данные о реальной мобильности нескольких узлов. Для каждого из них они преобразуются в путь, состоящий из путевых точек и переходов. В одну путевую точку объединяются все отметки из трассы реальной мобильности, которые находятся в круге радиусом 5 м, и время от момента первой попавшей в путевую точку отметки до последней считается временем, проведенным в путевой точке. Отметки, не попавшие ни в одну путевую точку (у которых в радиусе 5 м нет других отметок) считаются принадлежащим переходу и игнорируются, так как переход считается прямолинейным между соседними по времени путевыми точками.

Это обычная обработка, которую производят перед построением большинства моделей мобильности. Именно после такой обработки говорят о распределении Леви для расстояний между соседними точками и для времени остановки в путевой точке. Параметры этих распределений используются в

разных моделях, в том числе SLAW и предлагаемой гибридной модели.

Перейдем к обработке, характерной для моделей SLAW. После того, как путевые точки для всех узлов сети сформированы, из них всех, без разбора принадлежности тому или иному узлу, формируются локации. Каждая локация – это минимальный прямоугольник со сторонами, параллельными координатным осям, описанный вокруг транзитивного замыкания путевых точек с радиусом R , равным радиусу действия приемопередатчика узла (как правило, и в данной работе тоже, $R = 100$ м). Транзитивное замыкание – это множество точек, формируемых по следующему правилу: точка, находящаяся на расстоянии не более R от точки, принадлежащей транзитивному замыканию, сама принадлежит этому замыканию.

Смысл выделения локаций напрямую связан с предназначением модели для моделирования сетей мобильных устройств. Локации – это кластеры путевых точек, возникающие в местах скопления пользователей, при этом между узлами, находящимися в разных локациях, существование канала связи заведомо невозможно.

Для каждой локации модели SLAW необходимо знать число путевых точек в ней, а также данные о самоподобном характере распределения этих точек внутри локаций – так называемый график частичных дисперсий. Строится он следующим образом: каждая сторона прямоугольника, ограничивающего локацию, делится пополам, и образуются четыре равных части ($N = 4$ для каждой подобласти). Количество путевых точек в каждой четверти считается элементом выборки, для которой вычисляется эмпирическая дисперсия. Далее эти числа усредняются по всем локациям, и получается частичная дисперсия первого уровня ($l = 1$). После этого каждая четвертая часть локации также делится на четыре части, и для каждой локации получается выборка из 16 элементов, и усредненная по всем локациям эмпирическая дисперсия этих выборок дает частичную дисперсию второго уровня ($l = 2$), и т.д. Всего таких уровней восемь.

После получения всех этих данных модель SLAW начинает работу с распределения модельных путевых точек по локациям и определения порядка их обхода. Из экономии места мы не будем описывать соответствующие алгоритмы, они детально описаны в [6]. Заметим, что в результате смоделированные путевые точки расставляются внутри локаций не только с сохранением распределения Леви с нужными параметрами для расстояний между ними, но и с сохранением самоподобия в их позициях внутри локаций. Кроме того, существует алго-

ритм поиска следующей локации, когда в текущей все точки пройдены. Все это обеспечивает весьма близкое к реальному распределение ICT. Очевидно, что для SLAW требуется очень много информации о реальной мобильности на данной территории, что делает проблематичным ее использование, когда такая информация отсутствует.

В данной работе мы предлагаем гибридную модель, для которой информации требуется гораздо меньше. Для нее требуется только параметры распределения Леви для расстояния между путевыми точками и набор ограничивающих локаций прямоугольников. Заметим, что локации можно определять не только в результате обработки реальных данных, но и из внешних соображений. Можно угадать места скопления пользователей по назначению зданий и помещений внутри здания, можно использовать данные об интенсивности трафика через точки доступа существующих беспроводных сетей (типа Wi-Fi) и т.д.

При запуске гибридная модель начинает работу со стартовой путевой точки, случайным образом выбранной внутри первой локации. От нее она делает шаг случайного блуждания Леви с нужными параметрами и проверяет, попадает ли следующая путевая точка в локацию или нет. Если да, то делается следующий шаг случайного блуждания Леви и т.д. Если же нет, то направление такого «слишком длинного» шага изменяется так, чтобы попытаться «удержать» точку внутри локации. Нетрудно видеть, что самый длинный шаг можно удержать внутри локации, если делать его в направлении самого дальнего от текущей путевой точки угла ограничивающего локацию прямоугольника.

Если после такого изменения направления точка осталась внутри локации, то все продолжается по-прежнему. Если же даже при таком повороте новая путевая точка все равно оказывается вне локации, и такая ситуация случилась в данной локации первый раз, то такой слишком длинный шаг игнорируется, и все продолжается как прежде. Однако, когда это случается второй раз, то начинает работу алгоритм смены локации, который полностью совпадает с алгоритмом смены локации у SLAW (игнорирование первого выхода за пределы локации – это эвристика, улучшающая качество моделирования и найденная экспериментальным путем).

Результаты имитационного моделирования

Таким образом, предлагаемая модель внутри локации ведет себя как модель случайного блуждания Леви, но с неравномерным распределением направлений шагов, а при переходах между лока-

циями – как модель SLAW. Поэтому она и названа гибридной моделью. Для сравнения результатов моделирования на основе гибридной модели, модели SLAW и модели Леви они были реализованы в среде имитационного моделирования OMNeT++ [7] с помощью фреймворка INET [8] (подробнее см. в [9]).

Использовались данные о реальной мобильности с территории кампуса института KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology). Эти данные взяты с общедоступного ресурса CRAWDDAD [10] Дартмутского колледжа. Указанный ресурс был создан сотрудниками колледжа для коллекционирования различных статистических данных о мобильных сетях. Трассы на данной территории записывались 92 участниками, которые были случайным образом отобраны из студентов кафедры информатики. Каждую неделю 2 или 3 случайно выбранных студента носили GPS-приемники на протяжении всей своей дневной активности.

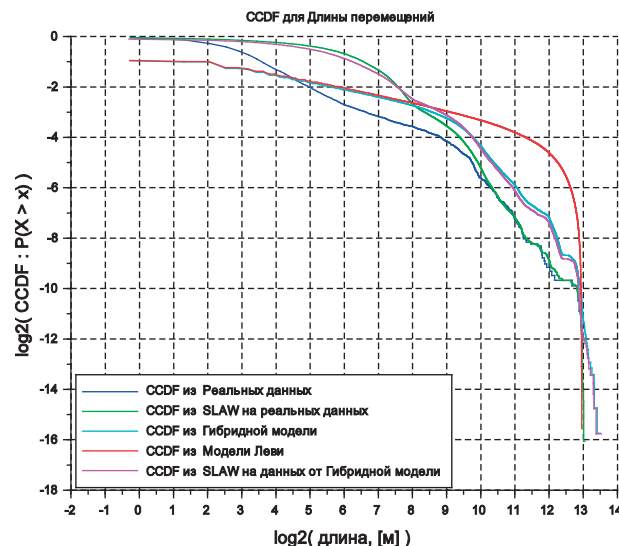


Рисунок 1. Функции CCDF длины перемещений

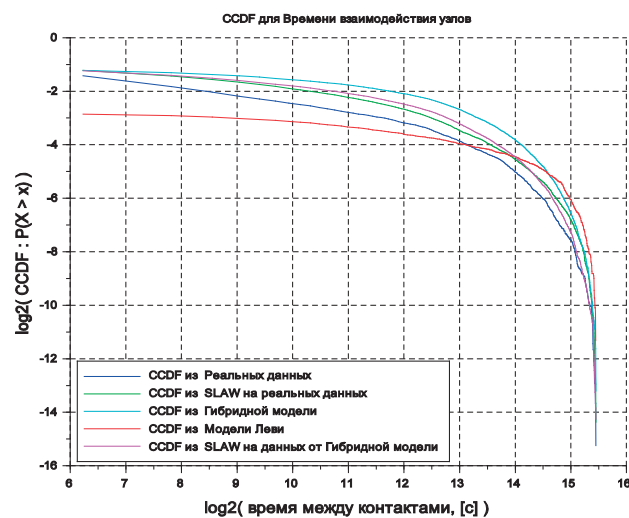


Рисунок 2. Функции CCDF для ICT

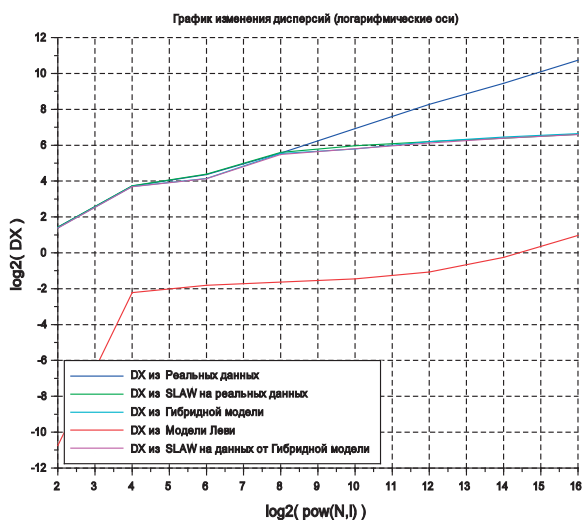


Рисунок 3. Графики дисперсий путевых точек

Результаты прогона описанных выше моделей на одной и той же территории, в сравнении с результатами, полученными по данным реальной мобильности на этой же территории, приведены на рисунке 1, где представлены графики функций CCDF для длины перемещений узлов сети DTN. На рисунке 2 представлены графики CCDF для времени между контактами пары узлов ICT, а на рисунке 3 – графики дисперсий путевых точек для каждого уровня разбиения.

Там же приведены результаты запуска модели SLAW, когда нужные для нее данные получены путем запуска гибридной модели. Видно, что и гибридная модель и SLAW на данных гибридной модели лишь незначительно уступают в точности воспроизведения как распределению Леви для расстояний между путевыми точками, так и ИТС по сравнению с результатами SLAW на реальных данных. По данным рисунка 3 видно, что гибридная модель, наряду с моделью SLAW, воспроизводит самоподобное поведение путевых точек, близкое к реальным данным, в то время, как модель Леви, крайне плохо моделирует набор дисперсий по отношению к реальной ситуации. Аналогичные результаты были получены и для других территорий, данные о которых так же, как и для территории KAIST, доступны в [10].

Заключение

Предложена гибридная модель человеческой подвижности, отражающая такие важные черты абонентской мобильности, как распределение Леви расстояния между путевыми точками и кластеризацию путевых точек. Для построения она требует значительно меньше информации, чем модель типа SLAW, незначительно уступая ей по качеству. Продемонстрирована возможность

использования гибридной модели для получения информации, недостающей для запуска SLAW. Запуск SLAW на этих данных также незначительно уступает по качеству моделирования запуску SLAW на реальных данных.

Литература

1. Fall K. Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets // SIGCOMM, August. – 2003. – P. 27-34. doi: 10.1145/863955.863960,
2. Lee K., Hong S., Kim S.J. e.a. SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk // IEEE/ACM Transactions On Networking. – 2012. – Vol. 20. – No. 2. – P. 515-529. doi: 10.1109/TNET.2011.2172984.
3. Lee K., Hong S., Kim S.J. e.a. SLAW: A New Mobility Model for Human Walks // Proceedings of IEEE INFOCOM 2009, April. – 2009. – P. 855-863. doi: 10.1109/INFCOM.2009.5061995,
4. Brockmann D., Hufnagel L., Geisel T. The scaling laws of human travel // Nature. – 2006. – Vol. 439 (Jan). – P. 462-465. doi: 10.1038/nature04292,
5. Rhee I., Shin M., Hong S. e.a. On the Levy-Walk Nature of Human Mobility // IEEE/ACM Transactions On Networking. – 2011. – Vol. 19. – No. 3. – P. 630-643. doi: 10.1109/TNET.2011.2120618
6. Lee K., Hong S., Kim S.J. e.a. Demystifying Levy Walk Patterns in Human Walks // Technical Report, CSC, NCSU. – 2008. // URL: <https://dfs.semanticscholar.org/7c06/99c1503f34fa86f8efd6ebf65a9b948a3f2.pdf>. (д.о. 15.05.2018).
7. Varga A, Hornig R. An overview of the OMNeT++ simulation environment // Proceeding of Simutools'08 // The 1-st International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems. – Marseille, France, March. – 2008. – No. 60. – P. 1-10.
8. Till S., Kenfack H.D., Korf F. e.a. An extension of the OMNeT++ INET framework for simulating real-time ethernet with high accuracy // Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques – ICST. Brussel. Belgium. – 2011. – P. 375-382.
9. Privalov A. Yu., Tsarev A.A. Hybrid Model of Human Mobility for DTN Network Simulation // Proceedings of 30th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS2016). – OTH, Regensburg, Germany. – 2016. – P. 419-424.
10. Kotz D. CRAWDDAD: A community resource for archiving wireless data at Dartmouth // Dartmouth College, Hanover, NH. – 2018. // URL: <http://www.crawdad.org/index> (д.о. 15.05.2018).

Получено 22.05.2018

Привалов Александр Юрьевич, д.т.н., профессор, Заведующий Кафедрой прикладных математики и физики (ПМФ) Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева (СНИУ). Тел. 8-903-303-38-43. E-mail: privalov1967@gmail.com

Царев Александр Александрович, аспирант Кафедры ПМФ СНИУ. Тел. 8-906-345-75-48. E-mail: al-xandr1@yandex.ru

HUMAN MOBILITY MODEL FOR SIMULATION MODELING OF WIRELESS DELAY TOLERANT NETWORKS

Tsarev A.A., Privalov A.Yu.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: al-xandr1@yandex.ru

In the article a human mobility model is presented. The model is designed to simulate delay tolerant networks where network nodes are people-portable devices with a small effective radius of the built-in transceiver. The base principle of this network is «Store-Carry-Forward». The model reflects the features of real mobility that are important for the performance of these networks, such as the Levy's probability distribution for transition lengths and waypoints clustering. The main characteristic of real mobility, that is used to verify the adequacy of the model, is the distribution of the time between contacts (the presence of an active communication channel) of an arbitrary pair of network nodes, i.e. the inter-contact time. In comparison with the best-known mobility models for delay tolerant networks, the proposed model requires less initialization information about the simulated situation while offering a sufficiently good approximation of the inter-contact time. The article presents the results of proposed model comparison with similar models and with real mobility data.

Keywords: simulation of mobile networks, ad-hoc networks, delay tolerant networks, human mobility models

DOI: 10.18469/ikt.2018.16.3.07

Privalov Alexander Yurievich, Samara National Research University, Molodogvardeyskaya str., 151-1, room 304, 305, Samara, 443001, Russian Federation; the Head of Department of Applied Mathematics and Physics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79033033843. E-mail: privalov1967@gmail.com

Tsarev Alexander Aleksandrovich, Samara National Research University, Molodogvardeyskaya str., 151-1, room 305, Samara, 443001, Russian Federation; PhD Student of the Department of Applied Mathematics and Physics. Tel. +79063457548. E-mail: al-xandr1@yandex.ru

References

1. Fall K. Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets. *SIGCOMM*, August 2003, pp. 27–34. doi: 10.1145/863955.863960
2. Lee K., Hong S., Kim S.J. e.a. SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk. *IEEE/ACM Transactions On Networking*, 2012, vol. 20, no. 2. pp. 515–529. doi: 10.1109/TNET.2011.2172984.
3. Lee K., Hong S., Kim S. J. e. a. SLAW: A New Mobility Model for Human Walks. *Proceedings of IEEE INFOCOM 2009*, April 2009, pp. 855–863. doi: 10.1109/INFCOM.2009.5061995.
4. Brockmann D., Hufnagel L., Geisel T. The scaling laws of human travel. *Nature*, 2006, vol. 439, pp. 462–465. doi: 10.1038/nature04292.
5. Rhee I., Shin M., Hong S. e. a. On the Levy-Walk Nature of Human Mobility. *IEEE/ACM Transactions On Networking*, 2011, vol. 19, no. 3. pp. 630–643. doi: 10.1109/TNET.2011.2120618.
6. Lee K., Hong S., Kim S.J. e.a. *Demystifying Levy Walk Patterns in Human Walks*. Technical Report, CSC, NCSU, 2008. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/7c06/99c1503f34fa86f8efde6ebf65a9b948a3f2.pdf>. (accessed 15.05.2018).
7. Varga A., Hornig R. An overview of the OMNeT++ simulation environment. *Proceeding of Si-mutools'08, The 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems*, Marseille, France, March 2008, no. 60, pp. 1–10.
8. Till S., Kenfack H.D., Korf F. e. a. An extension of the OMNeT++ INET framework for simulating real-time ethernet with high accuracy. *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques – ICST*, Brussel, Belgium, 2011, pp. 375–382.

9. Privalov A.Yu., Tsarev A.A. Hybrid Model of Human Mobility for DTN Network Simulation. *Proceedings of 30th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS2016)*, OTH, Regensburg, Germany, 2016, pp. 419–424.
10. Kotz D. *CRAWDAD: A community resource for archiving wireless data at Dartmouth*. Dartmouth College, Hanover, NH, 2018. Available at: <http://www.crowdad.org/index.html> (accessed 15.05.2018).

Received 22.05.2018

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.518: 339.13

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА «СТРОИТЕЛЬСТВО БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ». ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Димов Э.М., Кулева Н.С., Ганенко О.М.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, РФ
E-mail: e.m.dimov@gmail.com*

В первой части статьи рассматривается задача имитационного моделирования бизнес-процесса «Строительство быстровозводимых зданий». Кратко описана исследуемая предметная область. Актуальность модульного строительства заключается в том, что оно связано с использованием эффективных и экономичных инженерных методов, которые обеспечивают соответствие конечного продукта рыночным требованиям. Кроме того, в рамках статьи выявлены проблемы, обуславливающие необходимость изучения данного бизнес-процесса средствами моделирования. Для модульного строительства имеет особое значение последовательность операций процесса на стадии планирования, а также контроль их выполнения. В работе приводится вербальная модель и фрагмент детализированной схемы бизнес-процесса. Схема представляет собой статическую модель и отображает все операции бизнес-процесса и отделы, которые их выполняют. Для достижения целей моделирования предлагается использовать метод Димова-Маслова в рамках статистического имитационного моделирования.

Ключевые слова: строительство быстровозводимых зданий, бизнес-процесс, моделирование бизнес-процессов, статистическое имитационное моделирование, метод Димова-Маслова

Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост промышленности сборных конструкций за счет производства модульных сооружений. Строительство быстровозводимых (модульных) зданий связано с применением эффективных и экономичных инженерных методов, которые обеспечивают соответствие конечного продукта требованиям рынка, а именно способствуют увеличению скорости реализации проекта (на 50-60% в сравнении с традиционным строительством [1]), улучшению качества производственных операций и скорой окупаемости вложенных инвестиций.

Кроме того, актуальность модульных зданий объясняется заинтересованностью потребителей в быстром и доступном возведении сооружений различного назначения (в том числе жилого), а также существенной экономией масштабов производства, что важно для производителя и исполнителя проекта.

Модули быстровозводимых зданий изготавливаются в условиях многоступенчатого контроля качества, а затем доставляются на место строительства и собираются с минимальными трудозатратами. Решение о применении технологий быстрого и вместе с тем высококачественного строительства часто обусловлено необходимостью соблюдения определенных временных ограничений. Однако процесс строительства по-прежнему характеризуется значительной сложностью из-за высокой степени организационной фрагментарности и негативного влияния ряда случайных факторов на всех этапах производства.

Вследствие этого возникают повышенные требования к планированию и качеству промежуточных результатов фаз процесса от закупки и изготовления материалов до ввода готового здания в эксплуатацию. Следует отметить, что важным звеном цепочки данного бизнес-процесса является проектирование: исправление ошибок и неточностей, допущенных при проектировании, в дальней-