

## Применение теории надежности организационных систем при решении частных задач проектирования организации строительства лесовозных автомобильных дорог

М.Н. Казачек<sup>1a</sup>, Д.М. Левушкин<sup>2b</sup>, Ю.А. Боровлев<sup>3c</sup>, И.И. Савченко<sup>4d</sup>,  
П.О. Романов<sup>4e</sup>, А.А. Скрыпников<sup>4f</sup>, А.Ю. Жук<sup>5g</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

<sup>5</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> marinan@inbox.ru, <sup>b</sup> levushkin@mgul.ac.ru, <sup>c</sup> borovlevury@mail.ru, <sup>d</sup> ilona.savchenko.2016@mail.ru,

<sup>e</sup> rom0chka@mail.ru, <sup>f</sup> skrypnikovsafe@mail.ru, <sup>g</sup> ftslk@brstu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7458-1422>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1321-5631>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4787-6371>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0068-5906>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4507-6985>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>,

<sup>g</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8307-6945>

Статья поступила 27.10.2023, принята 08.02.2024

*В настоящее время при разработке проекта организации строительства (ПОС) лесовозных автомобильных дорог проектировщики в подавляющем большинстве случаев полагаются на имеющийся опыт или на решения, принятые ранее в других проектах при аналогичных ситуациях, а для расчетов пользуются укрупненными нормативами, содержащимися в соответствующих СНиПах. Однако этот традиционный подход не всегда дает удовлетворительные результаты, поскольку укрупненные нормативы не могут учесть индивидуальные особенности проектируемого объекта, а личный опыт проектировщика субъективен. Однако не существует полностью «аналогичных» ситуаций в проектировании организации строительства. Индивидуальный подход особенно важен при проектировании организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог, так как каждая из них представляет собой уникальный строительный объект. В этом случае ошибочные организационные решения, принятые на стадии составления ПОС, влекут за собой убытки, исчисляемые сотнями миллионов рублей. В ходе настоящей работы при моделировании строительства участков магистральной лесовозной автомобильной дороги в Калужской области была выяснена роль среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации случайной величины продолжительности строительства лесовозной автомобильной дороги.*

**Ключевые слова:** лесовозные автомобильные дороги; теория надежности организационных систем; среднеквадратическое отклонение; коэффициент вариации случайной величины.

## Application of the theory of reliability of organizational systems in solving particular problems of designing the organization of construction of logging roads

M.N. Kazachek<sup>1a</sup>, D.M. Levushkin<sup>2b</sup>, Yu.A. Borovlev<sup>3c</sup>, I.I. Savchenko<sup>4d</sup>,  
P.O. Romanov<sup>4e</sup>, A.A. Skrypnikov<sup>4f</sup>, A.Yu. Zhuk<sup>5g</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University; 5/1, 2nd Baumanskaya St., Moscow, Russia

<sup>3</sup> Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry of SB RAS; 3, Academician Lavrentyev Ave., Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolution Ave., Voronezh, Russia

<sup>5</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> marinan@inbox.ru, <sup>b</sup> levushkin@mgul.ac.ru, <sup>c</sup> borovlevury@mail.ru, <sup>d</sup> ilona.savchenko.2016@mail.ru,

<sup>e</sup> rom0chka@mail.ru, <sup>f</sup> skrypnikovsafe@mail.ru, <sup>g</sup> ftslk@brstu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7458-1422>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1321-5631>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4787-6371>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0068-5906>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4507-6985>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>,

<sup>g</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8307-6945>

Received 27.10.2023, accepted 08.02.2024

*Currently, when developing a project for the organization of construction of logging roads, designers in the vast majority of cases rely on existing experience or on decisions made previously in other projects in similar situations, and for calculations they use aggre-*

*gated standards contained in the relevant SNIps. However, this traditional approach does not always give satisfactory results, since aggregated standards cannot take into account the individual characteristics of the designed object, and the personal experience of the designer is subjective. However, there are no completely "analogous" situations in the design of a construction organization. An individual approach is especially important when designing the organization of construction of main logging roads, since each of them is a unique construction project. In this case, erroneous organizational decisions made at the stage of drawing up a project for the organization of construction of logging roads entail losses amounting to hundreds of millions of rubles. In the course of this work, when modeling the construction of sections of the main logging road in the Kaluga region, the role of the standard deviation and the coefficient of variation of the random variable of the duration of construction of the logging road is clarified.*

**Keywords:** logging roads; theory of reliability of organizational systems; standard deviation; coefficient of variation of a random variable.

**Введение.** Круг задач, возникающих при проектировании организации строительства, весьма широк и определяется составом проекта организации строительства (ПОС), регламентированным различными СНиПами. Там же указано, что при решении этих задач необходимо применение экономико-математических методов. Однако некоторые задачи, как, например, разработка ситуационного плана строительства, плана инженерных сетей и т. п., являются чисто организационными и не требуют математической формализации и строгого научного обоснования. В то же время, для таких задач, как разработка календарного плана, составление графика потребности в основных строительных машинах и транспортных средствах и некоторых других это необходимо при строительстве лесовозных автомобильных дорог магистрального типа.

В настоящее время при разработке ПОС лесовозных автомобильных дорог проектировщики в подавляющем большинстве случаев полагаются на имеющийся опыт или на решения, принятые ранее в других проектах при аналогичных ситуациях [2], а для расчетов пользуются укрупненными нормативами, содержащимися в соответствующих СНиПах.

**Постановка задачи.** Однако этот традиционный подход не всегда дает удовлетворительные результаты, поскольку укрупненные нормативы не могут учесть индивидуальные особенности проектируемого объекта, а личный опыт проектировщика субъективен. «Типовых» дорог, строго говоря, не существует, полностью «аналогичных» ситуаций в проектировании организации их строительства — тоже. Индивидуальный подход особенно важен при проектировании организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог, так как каждая из них представляет собой уникальный строительный объект. В этом случае ошибочные организационные решения, принятые на стадии составления ПОС, влекут за собой убытки, исчисляемые сотнями миллионов рублей.

**Методика.** Исследователями неоднократно решались отдельные частные задачи, входящие в состав ПОС. Фактически это основные, наиболее сложные задачи, однако их можно формализовать и решить с помощью различных оптимизационных методов и современных компьютерных технологий. К этим задачам относятся:

составление оптимального графика перемещения земляных масс и выбор машин для производства земляных работ [1–3];

определение потребности в ресурсах различных видов (строительных материалах, машинах и механизмах, автотранспортных средствах и т. д.) [4–8];

размещение производственных баз строительства [9]; составление календарного плана или сетевого графика строительства объекта [10; 11].

Рядом отечественных и зарубежных ученых выполнялись работы по совершенствованию методов разработки ПОС [12–14], однако их результатами явились либо чисто качественные рекомендации без применения экономико-математических методов расчетов, либо, в лучшем случае, программы для решения на ЭВМ тех же частных задач.

Отечественными учеными была выполнена работа, которая может служить своего рода справочным пособием по подбору программ для решения на ЭВМ частных задач при составлении ПОС. К сожалению, содержащиеся в перечне программы составлены в различных институтах. Кроме того, сами авторы делают вывод о том, что эти программы «не связаны между собой, практически отсутствуют согласованность и преемственность решений задач проектов организации строительства и производства работ; выходные документы в программах, реализующих задачи ПОС и ППР, в большинстве случаев не отвечают требованиям к их формам и, следовательно, мало приспособлены для функционирования в условиях АСУ; информационное обеспечение для каждой задачи сугубо индивидуально». Все это означает, что пользоваться этими программами затруднительно, а порой и вовсе невозможно.

**Решение задачи.** В настоящее время ситуация мало изменилась. Проектировщики почти не используют программы, написанные для решения на компьютере вышеперечисленных задач. Как и ранее, это объясняется, во-первых, отсутствием единой нормативной базы исходных данных, во-вторых, отсутствием единой удобной формы выходной документации и, в-третьих, отсутствием единой методологии и комплексности решения отдельных задач.

Результаты решения в ходе составления ПОС отдельных задач с ориентацией на частные критерии оптимальности могут вступить в противоречие друг с другом и, очевидно, не будут являться оптимальными с точки зрения глобального критерия — народнохозяйственного эффекта от строительства проектируемого объекта.

М.Д. Спектором предложен метод комплексной оптимизации процессов строительства, состоящий в том, что «при проектировании организации строительства и производства работ организационно-технологические решения выбираются с одновременным охватом в анализе их взаимосвязи друг с другом и достижением конечных целей строительства». Автор особо подчеркивает, что ведущая роль в этом методе принадлежит оптимизации

продолжительности строительства, так как только путем «выбора оптимальной продолжительности строительства с народнохозяйственных позиций можно достичь согласования организационно-технологических решений в строительном производстве с народнохозяйственными целями строительства как отрасли».

Последнее утверждение особенно важно для магистральных лесовозных автомобильных дорог, продолжительность строительства которых должна быть обоснованно установлена в ходе разработки ПОС.

Таким образом, на основании анализа современного состояния методов проектирования организации строительства можно сделать вывод о том, что необходимо создание информационно-интеллектуальной системы проектирования организации строительства лесовозных автомобильных дорог, включающей в себя обширную нормативную базу данных, комплекс программ для решения на ЭВМ задач ПОС, поддающихся математической формализации и объединенных общим глобальным критерием оптимальности и общей методологией решения (согласно методу комплексной оптимизации процессов строительства), а также четко регламентированную систему выходной документации, форма которой обеспечивала бы реальную возможность использования ее при строительстве лесовозных автомобильных дорог.

Для того, чтобы наиболее полно учесть опыт, накопленный к настоящему времени при решении задач проектирования организации строительства, необходимо рассмотреть различные подходы и методы, применявшиеся в работах по рассматриваемой тематике.

Как уже было отмечено, процесс строительства носит вероятностный характер. В большинстве работ для учета этого факта была применена теория надежности организационных систем, получившая широкое распространение при решении задач проектирования организации строительства.

Исследования надежности организационных систем в строительстве начали проводиться с середины 60-х гг. прошлого столетия в связи с развитием поточного строительства, и за последние 20 лет в этой области было выполнено значительное количество разработок, различных как по целям, так и по методике исследований.

Теория надежности для технических систем хорошо развита как в зарубежных, так и в отечественных работах (В.В. Гнеденко, А.К. Горского и других). Однако между техническими и организационными системами существуют принципиальные различия. Эти различия и особенности организационных систем были отмечены А.Ф. Шкляровым, при этом основные из них заключаются в следующем:

- организационные системы неизмеримо сложнее технических по составу и взаимодействию элементов;
- одним из основных элементов организационных систем являются люди;

- взаимосвязи между элементами организационной системы динамичны и могут изменяться в процессе управления.

В силу этого автоматическое перенесение основных определений теории надежности технических систем в теорию надежности организационных систем оказалось невозможным. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Применительно к техническим устройствам надежность определяется как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значение установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. При этом показателем надежности технической системы могут служить либо ее безотказность (вероятность нормального функционирования в течение заданного промежутка времени), либо долговечность, либо ремонтпригодность, либо какое-нибудь сочетание этих свойств [15].

Однако до сих пор ввиду отсутствия соответствующих нормативных документов в теории надежности организационных систем не существует единой общепринятой терминологии и твердо установленных определений основных понятий. Вследствие этого практически в каждой работе, посвященной исследованию надежности организационных систем, авторы дают свои определения основных понятий, пользуясь при этом ими самими установленной терминологией. В ряде работ определения понятия «надежность» применительно к организационным системам были даны по аналогии определению понятия «надежность» для технических систем.

Суть этих определений заключается в том, что под надежностью организационной системы понимается ее способность сохранять свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени функционирования системы [16–18]. При этом за количественный показатель надежности, называемый ее уровнем, обычно принимается вероятность сохранения в заданных проектом пределах значений выбранного автором параметра, характеризующего эффективность работы системы. Чаще всего этим параметром служит интенсивность количества строительной продукции, производимой потоком, т. е. количеством строительной продукции, производимой потоком в единицу времени [19; 20].

Выход значения выбранного параметра за установленные пределы (например, падение интенсивности потока ниже заданного критического уровня) считается отказом организационной системы. Другое определение отказа авторы предлагают считать отказом частного объема работ к моменту критического сближения рассматриваемого частного потока со следующим за ним частным потоком.

В работах А.А. Малышева надежность понимается как вероятность выполнения принятых решений, в частности, как вероятность безотказной работы системы в плановый период. А.А. Гусаков также отмечает, что «надежность системы определяется вероятностью отказа в течение гарантированного проектом срока исправной работы системы».

Это высказывание полностью отражает суть всех вышеприведенных определений понятий надежности организационных систем и ее уровня. Ни в одном из них не учитывается взаимосвязь, с необходимостью существующая между надежностью организационной системы и конечным результатом ее функционирования.

Конечным результатом функционирования для организационной системы строительного производства

считается завершение предусмотренных проектом работ в срок, не превышающий директивный, при условии достижения запланированных показателей.

Однако А.А. Гусаков указывает, что для систем строительного производства характерными являются не полные отказы, а частичные, которые устраняются в процессе непрерывного функционирования системы. В самом деле, очевидно, что временный выход тех или иных параметров организационной системы за установленные пределы в течение заданного срока функционирования вполне может не сказаться на конечном результате функционирования системы, т. е. не иметь ощутимых последствий, и, следовательно, при определении надежности организационной системы и ее уровня, подобные вышеприведенным, не могут считаться отражающими сущность этих понятий.

**Результаты.** Отсюда следует справедливость утверждения, что термин «надежность» в организационно-технологических системах должен применяться только к результату деятельности системы».

Что же касается технических систем, то для них обычно важна безотказная работа именно в процессе их функционирования, поскольку отказ технической системы практически всегда сказывается на конечном результате ее деятельности (например, на качестве выпускаемой ею или при ее участии продукции, на регистрируемых ею данных и т. п.). Очевидно также, что понятия «ремонтпригодность» и «долговечность» применительно к организационным системам лишены всякого смысла.

Таким образом, провести прямую аналогию между основными понятиями теории надежности технических систем и теории надежности организационных систем не удается.

В монографии А.Ф. Шклярова надежность функционирования системы управления на некотором уровне руководства определяется как вероятность выработки и реализации мероприятий, ликвидирующих отрицательные отклонения и обеспечивающих выполнение плановых заданий. На практике это означает следующее.

На уровне СУ: вероятность того, что требуемое для маневрирования случайное количество рабочих не превысит маневренный резерв рабочих в СУ, или условная вероятность того, что при выполнении предыдущего условия превышение продолжительности критического пути на сетевом графике работ над директивной продолжительностью строительства не превысит предельную величину отклонения, которую можно еще ликвидировать имеющимися силами рабочих;

На уровне треста: то же самое, что и на уровне СУ, но совместно с ресурсами рабочей силы учитываются ресурсы механизмов и материалов.

Однако при таком определении весьма трудно достаточно достоверно определить вероятность выработки необходимых мероприятий, а также оценить предельную величину превышения продолжительности критического пути над директивной продолжительностью строительства при имеющихся ресурсах. Поэтому практическая ценность такого определения надежности функционирования системы управления существенно снижается.

Нетривиальный подход к определению показателя надежности выполнения годовой программы работ дорожно-строительной организацией приведен в диссертационной работе Г.Я. Глинского, где в качестве показателя надежности предложена величина:

$$H = P\{\bar{T}_\phi \leq \bar{T}_д; Q_\phi \geq Q_д; B_\phi \geq B_д; C_\phi \leq C_д; \dots\}, (1)$$

где  $P$  — вероятность;  $\bar{T}_\phi$  и  $\bar{T}_д$  — векторы фактических и директивных сроков производства работ;  $Q_\phi$  и  $Q_д$  — фактический и директивный объемы товарной продукции,  $p$ ;  $B_\phi$  и  $B_д$  — фактический и директивный показатели производительности труда,  $p./чел.$ ;  $C_\phi$  и  $C_д$  — фактическая и директивная себестоимость работ,  $p$ .

В этой формуле могут быть учтены и другие технико-экономические показатели.

Тем не менее, такое определение показателя надежности, несмотря на кажущуюся «всеобъемлемость», несвободно от недостатков. Во-первых, в этом случае величина показателя надежности в явном виде зависит от нескольких технико-экономических показателей, причем их влияние на конечный результат деятельности дорожно-строительной организации с экономической точки зрения явно неодинаково, что никоим образом не учитывается формулой (1). Во-вторых, наличие нескольких одновременно учитываемых и, очевидно, взаимозависимых технико-экономических параметров должно значительно усложнять проведение исследований с использованием определенного формулой (1) показателя надежности, поскольку затруднительно учесть влияние изменения директивных значений параметров на величину этого показателя. Отсюда же следует невозможность по такому обобщенному показателю надежности судить об отдельно взятых технико-экономических показателях функционирования дорожно-строительной организации (например, невозможно оценить величину  $P\{T_\phi \leq T_д\}$  при заданном показателе надежности (1)).

Наиболее распространенными являются определения, принятые в работах [1; 2; 4; 6; 8; 9; 11; 13–16; 18], суть которых заключается в следующем. Под надежностью организационной системы понимается ее свойство достигать планируемый результат функционирования в заданный срок. Надежность количественно характеризуется величиной, называемой уровнем надежности и равной вероятности достижения запланированных результатов (в частности, выполнения запланированных объемов работ) в срок, не превышающий директивный:

$$H = P\{T \leq T_{дир}\}, (2)$$

где  $T$  и  $T_{дир}$  — фактический и директивный сроки выполнения запланированных работ соответственно.

Очевидно, что при таком определении величина уровня надежности тесно взаимосвязана с величиной директивного срока строительства.

К настоящему моменту работы, относящиеся к рассматриваемой тематике, можно классифицировать по следующим четырем признакам:

- объект, надежность которого исследуется;
- подход к исследованию надежности организационных систем;

- рассматриваемые при исследовании виды ресурсов;
- принятый критерий оптимальности.

В качестве объекта, надежность которого исследуется, могут выступать:

- сетевой или календарный график строительства нескольких объектов [1–5; 8; 12; 17];
- строительный поток (или его календарный график), реализуемый на одном объекте [8; 11–13; 15; 16; 18–20].

Можно выделить четыре подхода к исследованию надежности организационных систем:

оценка надежности объекта, исследование зависимости уровня надежности от некоторых параметров объекта [8; 11–13; 15; 16; 18–20];

обеспечение оптимизации величины принятого критерия оптимальности при заданном уровне надежности [1–5; 8; 12; 17];

обеспечение максимально возможного уровня надежности [19; 20];

определение оптимального с точки зрения принятого критерия уровня надежности объекта [15].

Решение поставленной задачи при всех подходах достигается путем варьирования количеств ресурсов различных видов в пределах заданных ограничений и (или) их оптимального распределения.

В работах рассматриваются следующие виды ресурсов:

ресурсы типа мощности (машины и механизмы, рабочие) [8; 9; 11; 13; 14; 16; 20];

строительные материалы, денежные средства [7; 10; 12];

резервные заделы, опережения частных или специализированных потоков, временные резервы [1–4; 6; 15; 17; 19].

Первые работы в этой области были посвящены, главным образом, оценке организационной надежности строительных потоков, причем по аналогии с техническими системами. Среди работ с таким подходом можно назвать работы О.Б. Билецкого, А.Б. Креймана, Д.А. Яковлева, Г.Н. Израелиса, В.Н. Мухачева, В.К. Курянова. При этом иногда рассматривалась зависимость уровня надежности от какого-либо параметра потока. Так, например, в работе Б.М. Томаева показано, что между средней сменной выработкой и продолжительностью простоев потока существует линейная корреляционная зависимость (при этом отношение средней сменной выработки к нормативной было принято показателем надежности потока).

Основным недостатком этого подхода является отсутствие конкретных рекомендаций, что снижает практическую ценность работ.

Следующей ступенью явились работы (их подавляющее большинство), ставящие целью разработку рекомендаций по достижению некоторого заданного уровня надежности при условии оптимизации величины некоторого выбранного критерия. При этом достижение заданного уровня надежности обеспечивается путем резервирования ресурсов различных видов.

Задачи оптимизации решались О.Б. Билецким, Б.М. Томаевым, В.М. Могилевичем, Т.В. Бобровой, О.Н. Бурмистровой, В.В. Никитиным, В.Г. Козловым, Е.В. Кондрашовой, С.В. Дорохиным, А.В. Скрышниковым.

Необходимость временного резервирования отмечалась также Ю.А. Мальцевым.

Определению оптимальных количеств ресурсов типа мощности посвящены работы А.А. Гусакова, Ю.А. Куликова, П.Ф. Вайнкофа, И.А. Золотаря, В.К. Некрасова и др. Резервирование ресурсов типа мощности, а также материалов, необходимых для обеспечения заданного уровня надежности сетевого графика, рассматриваются в монографии А.Ф. Шклярова. Разработке организационно-технологических решений по возведению крупных промышленных объектов и комплексов с планируемым уровнем надежности посвящена диссертационная работа М.С. Розенфельда.

Однако при таком подходе встает вопрос о том, каким же именно должен быть задан тот уровень надежности, к обеспечению которого следует стремиться. В работах А.А. Гусакова предлагается обеспечивать уровень надежности, равный 0,6 — не ниже 0,5. Тем не менее, ни в одной из вышеперечисленных работ не дается строгого обоснования этих значений. Но очевидно, что априорно назначаемый уровень надежности может потребовать для своего обеспечения неоправданно больших затрат ресурсов или же, наоборот, оказаться слишком низким с точки зрения народнохозяйственного эффекта. Следовательно, необходимо обоснованно определять требуемый уровень надежности, чего рассматриваемый подход не обеспечивает.

Еще одним недостатком является то, что авторы работ рассматривают, как правило, не более одного вида ресурсов, тогда как без учета резервирования различных видов ресурсов в комплексе картина вряд ли будет полной и достаточно адекватной реальности.

А.А. Малышевым устанавливается взаимосвязь между уровнем надежности системы и уровнем ее организации, количественно характеризуемой величиной энтропии системы (т. е. величиной неопределенности ее состояния), и предлагается методика определения необходимых уровней надежности подсистем, входящих в состав рассматриваемой системы, для обеспечения требуемого уровня надежности системы в целом, однако подход к определению надежности системы, продемонстрированный в этой работе, является весьма абстрактным и потому плохо применимым на практике.

В работах П.Ф. Вайнкофа и Г.Я. Глинского решается задача обеспечения максимально возможного уровня надежности при заданных или варьируемых в пределах некоторых ограничений количествах ресурсов. Но при таком подходе стоимостный показатель, отражающий народнохозяйственный эффект, может быть учтен только в ограничениях и не может являться критерием оптимальности, в то время как основной целью исследований в конечном итоге должно быть именно достижение максимального народнохозяйственного эффекта от строительства проектируемого объекта.

С этой точки зрения более правильный подход имеет место в работе Н.А. Карая, при котором автор ставит своей целью разработку метода расчета оптимального уровня надежности дорожно-строительного потока, причем в качестве критерия оптимальности служит «сумма затрат на производство работ и эффекта от досрочного ввода объекта в эксплуатацию (либо потерь

от удлинения фактических сроков строительства по сравнению с плановыми)».

Необходимо заметить, что особенности организации строительства лесовозных автомобильных дорог, отличающие его от строительства прочих объектов [18; 19], не учитывались ни в одной из рассмотренных работ. При этом наличие достаточного задела земляного полотна считалось обеспеченным. Однако на практике достаточный задел земляного полотна обеспечен далеко не всегда; более того, его отсутствие является одной из основных причин простоев специализированного потока по устройству дорожной одежды. Этот пример показывает, что для получения достоверных результатов при решении задач проектирования организации строительства лесовозных автомобильных дорог эти особенности должны быть учтены.

**Выводы.** Итак, в результате анализа работ, посвященных решению частных задач проектирования организации строительства с помощью теории надежности организационных систем, можно сделать следующие выводы:

наиболее распространенное и не содержащее очевидных противоречий определение уровня надежности как вероятности достижения запланированных результатов в срок, не превышающий директивный, неразрывно связывает величину уровня надежности с продолжительностью строительства;

уровень надежности должен определяться индивидуально для каждого объекта и быть оптимальным с точки зрения выбранного критерия.

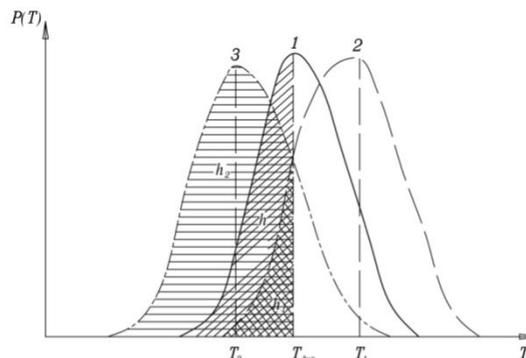
На основании этих выводов можно показать, что использование уровня надежности в качестве критерия оптимальности при решении задач проектирования организации строительства неправомерно. В самом деле, фактическая продолжительность строительства объекта является случайной величиной в силу вероятностного характера процесса строительства, обусловленного влиянием множества случайных факторов. Поскольку процесс строительства конкретного объекта имеет единственную реализацию, логично ориентироваться на модальное значение этой случайной величины как на «наиболее вероятное». Следовательно, именно это модальное значение можно считать той продолжительностью строительства, которую реально обеспечивают принятые на стадии проектирования организационные решения. Далее, необходимо отметить, что ни в одной из рассмотренных выше работ не были указаны параметры распределения случайной величины продолжительности строительства, не было проведено исследование изменения этих параметров (или соотношения между ними) в зависимости от резервирования ресурсов. Какое же именно превышение директивного срока можно считать допустимым, а какое — уже нет с точки зрения надежности организационной системы (например, превышение директивного срока строительства на 1–2 смены, очевидно, не вызовет ощутимых последствий, но необходимо установить некоторую максимально допустимую величину).

В ходе настоящей работы при моделировании строительства участков магистральной лесовозной автомобильной дороги в Калужской области было выяснено, что среднеквадратическое отклонение и коэффициент

вариации случайной величины продолжительности строительства лесовозной автомобильной дороги весьма невелики (последний колеблется в пределах 0,02–0,03), что сводит на нет практическую ценность показателя «уровень надежности». При этом, однако, следует отметить, что проводилось моделирование одного из наиболее механизированных видов работ — строительства земляного полотна.

Тем не менее, можно привести и принципиальные соображения, доказывающие неправомерность подхода к проектированию организации строительства на основе теории надежности организационных систем.

В том случае, когда имеется директивная продолжительность строительства объекта, регламентированная нормативными документами, естественно при проектировании организации строительства с учетом его вероятностного характера добиваться совпадения модального значения продолжительности строительства с директивной (см. рис.). Если же для того, чтобы обеспечить необходимый (пусть даже оптимальный) уровень надежности за счет резервирования ресурсов различных видов придется сдвинуть это модальное значение относительно директивного, то, тем самым, принятые организационные решения фактически будут обеспечивать отличную от директивной продолжительность строительства, т. е. идти вразрез с нормативными документами, что недопустимо. Менять же форму распределения случайной величины продолжительности строительства с тем, чтобы добиться нужного уровня надежности, не сдвигая модального значения, за счет изменения качественного состава ресурсов, практически невозможно, что также было выяснено в ходе выполнения настоящей работы.



**Рис.** График функции плотности распределения. Случайно увеличена продолжительность строительства объекта: 1 — директивная продолжительность строительства соблюдается (уровень надежности равен  $h$ ); 2 — директивная продолжительность строительства превышена ради обеспечения оптимального уровня надежности  $h_1$  ( $T_1 > T_{дир}$ ); 3 — директивная продолжительность строительства не достигается ради обеспечения оптимального уровня надежности  $h_2$  ( $T_2 > T_{дир}$ )

Однако для целого ряда объектов не установлены нормы продолжительности строительства в силу того, что эти объекты уникальны. К таким объектам, в частности, относятся и магистральные лесовозные автомобильные дороги. В этом случае само определение уровня надежности теряет всякий смысл, ибо отсутствует директивная продолжительность строительства.

Но даже если определить требуемую продолжительность строительства такого объекта путем решения некоторой оптимизационной задачи, то с ее установлением, очевидно, сразу же входят в силу рассуждения, проведенные нами выше для объектов с установленной директивной продолжительностью строительства.

#### Литература

1. Алябьев В.И., Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Сухопутный транспорт леса. М.: Лесная пром-сть, 1990. 416 с.
2. Грязин А.Д., Смирнов М.Ю. Дороги и транспорт в лесу // Лесная пром-сть. 1990. № 7. С. 23-24.
3. Мохирев А.П., Болотов О.В. Автоматизированное проектирование и оптимизация транспортной схемы освоения лесосырьевой базы [Электронный ресурс]. URL: <http://science-bsea.narod.ru/2003/leskomp2003/mohirev.htm> (дата обращения: 08.11.2023).
4. Ананьев В.А., Асикайнен А., Вяльккю Э. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2005. 150 с.
5. Antunes A., Seco A., Pinto N. An Accessibility-Maximization Approach to Road Network Planning // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. Maiden: Blackwell Publishing, 2003. V. 18. P. 224-240.
6. Павлов Ф.А., Доронин К.В. Оптимальная конфигурация транспортной сети лесных дорог с учетом формы выделов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2006. № 3. С. 31-35.
7. Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. М.: Лесная пром-сть, 1982. 384 с.
8. СНиП 2.05.02-85\*. Автомобильные дороги. Введ. 01.01.1987. М.: ФГУП ЦПП, 2007. 54 с.
9. Антонова Т.С. Обоснование методики размещения лесосек и транспортного освоения лесов лесозаготовительного предприятия на базе геоинформационных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 2012. 20 с.
10. Бавбель Е.И., Лышчик П.А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2009. № 4.1. С. 82-88.
11. Борисов Г.А., Кукин В.Д. Об оптимизации параметров лесотранспортных сетей в современных условиях // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2009. № 1. С. 60-66.
12. Борисов Г.А. Методы автоматизированного проектирования лесотранспорта. Петрозаводск: Карелия, 1978. 198 с.
13. Герасимов Ю.Ю., Катаров В.К. Лесные дороги. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2009. 70 с.
14. Буторин Н.Н. Трассирование дороги по карте на экране монитора // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2007. № 2. С. 70-73.
15. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. М.: Наука, 1964. 176 с.
16. Громская Л.Я. Обоснование рациональной структуры и размещения сети лесных автомобильных дорог на базе геоинформационных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 2011. 20 с.
17. Грязин А.Д., Кирсанов А.Д., Смирнов М.Ю. Что показала паспортизация лесовозных дорог // Лесная пром-сть. 1992. № 1. С. 28-29.
18. Питухин А.В., Петров А.Н. Влияние ровности покрытий на работоспособность автомобильных дорог // Транспортное дело России. 2010. № 5 (78). С. 71-75.
19. Борисов Г.А., Кукин В.Д., Кузина В.И. Методы поиска наиболее выгоднейшего варианта сети лесовозных дорог // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2001. № 3. С. 64-70.
20. Питухин А.В., Петров А.Н. Расчет дорожных конструкций лесовозных автомобильных дорог // Транспортное дело России. 2011. № 1 (86). С. 120-123.

Таким образом, уровень надежности может служить, в лучшем случае, чисто иллюстративной величиной, но ни в коем случае — фактором, определяющим содержание организационных решений.

#### References

1. Alyab'ev V.I., Il'in B.A., Kuvaldin B.I. Overland transport of forests. M.: Lesnaya prom-st', 1990. 416 p.
2. Gryazin A.D., Smirnov M.YU. Roads and transport in the forest // Lesnaya prom-st'. 1990. № 7. P. 23-24.
3. Mohirev A.P., Bolotov O.V. Computer-aided design and optimization of the transport scheme for the development of the forest resource base [Elektronnyj resurs]. URL: <http://science-bsea.narod.ru/2003/leskomp2003/mohirev.htm> (data obrashcheniya: 08.11.2023).
4. Anan'ev V.A., Asikajnen A., Vyal'kkyu E. Intermediate use of forests in the North-West of Russia. Joensuu: NII lesa Finlandii, 2005. 150 p.
5. Antunes A., Seco A., Pinto N. An Accessibility-Maximization Approach to Road Network Planning // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. Maiden: Blackwell Publishing, 2003. V. 18. P. 224-240.
6. Pavlov F.A., Doronin K.V. Optimal configuration of the forest road transport network, taking into account the shape of allotments // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2006. № 3. P. 31-35.
7. Il'in B.A., Kuvaldin B.I. Design, construction and operation of logging roads. M.: Lesnaya prom-st', 1982. 384 p.
8. SNiP 2.05.02-85\*. Highways. Vved. 01.01.1987. M.: FGUP CPP, 2007. 54 p.
9. Antonova T.S. Substantiation of the methodology for the placement of logging sites and transport development of forests of a logging enterprise based on geoinformation systems: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.01. SPb., 2012. 20 p.
10. Bavbel' E.I., Lyshchik P.A. Justification for the placement of forest transportation networks // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2009. № 4.1. P. 82-88.
11. Borisov G.A., Kukin V.D. On optimizing the parameters of forest transportation networks in modern conditions // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2009. № 1. P. 60-66.
12. Borisov G.A. Methods of computer-aided design of forest transport. Petrozavodsk: Kareliya, 1978. 198 p.
13. Gerasimov YU.YU., Katarov V.K. Forest roads. Joensuu: NII lesa Finlandii, 2009. 70 p.
14. Butorin H.H. Tracing the road on the map on the monitor screen // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2007. № 2. P. 70-73.
15. Ventcel' E.S. Elements of dynamic programming. M.: Nauka, 1964. 176 p.
16. Gromskaya L.YA. Substantiation of the rational structure and location of the forest highway network based on geoinformation systems: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.01. SPb., 2011. 20 p.
17. Gryazin A.D., Kirsanov A.D., Smirnov M.YU. What has the certification of logging roads shown // Lesnaya prom-st'. 1992. № 1. P. 28-29.
18. Pituhin A.B., Petrov A.N. The effect of the evenness of coatings on the performance of highways // Transport business of Russia. 2010. № 5 (78). P. 71-75.
19. Borisov G.A., Kukin V.D., Kuzina V.I. Methods of searching for the most advantageous option for a network of logging roads // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2001. № 3. P. 64-70.
20. Pituhin A.B., Petrov A.N. Calculation of road structures of logging roads // Transport business of Russia. 2011. № 1 (86). P. 120-123.