SECTION V. CONSTRUCTION

Панченко Н.М.

О необходимости учёта влияния параметров надёжности строительной системы на её производительность (на примере процесса производства земляных работ экскаваторным комплектом)

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi 10.18411/gq-15-10-2021-11

Аннотация

В последние десятилетия в области строительства активно внедряются средства механизации и автоматизации, но благодаря этому не всегда удаётся повысить эффективность строительного производства. Каждый комплексный строительный процесс сложен, элементы, из которых он состоит, имеют строго определённую соподчинённость и последовательность. Изменение производительности в одном из составляющих процесса приводит обычно к изменению производительности всего комплексного процесса в целом. Отсутствие необходимых методологических разработок не позволяет достоверно оценивать фактическое состояние интенсификации используемых процессов. Данная статья освещает вопросы разработки методологии выявления и учёта влияния технологических, человеческих и технических параметров надёжности на производительность строительных систем.

Ключевые слова: надёжность, большая система, элемент системы, вероятность безотказной работы, технология, строительный процесс, параметры надёжности.

Abstract

In recent decades, means of mechanization and automation are actively implementing in building, but it is not always possible to increase the efficiency of construction production. Each complex construction process is complicated; the elements of which it consists have a strictly defined subordination and sequence. A change in productivity in one of the components of the process usually leads to a change in the performance of the entire complex process as a whole. The lack of the necessary methodological developments does not allow to reliably assessing the actual state of intensification of the processes used. This article highlights the development of a methodology for identifying and accounting for the impact of technological, human and technical parameters of reliability on the performance of building systems.

Keywords: reliability, large system, system element, probability of failure-free operation, technology, construction process, reliability parameters.

1. Введение.

Сфера строительства занимает особое место в системе функционирования любой развитой страны мира. Решению задач в области выбора рациональных путей интенсификации строительных процессов посвящено множество работ российских учёных, начиная с 60-х годов прошлого века, с периода наращивания в нашей стране темпов комплексной механизации, таких как С.С. Атаев, В.И. Рыбальский, Б.В. Прыкин и другие. И хотя за последние десятилетия было создано немало разработок и выдвинуто множество современных идей, ясности в выборе рациональных путей интенсификации строительных процессов не появилось. Внедрение средств автоматизации и робототехники, как показывает практика, не всегда способно повысить эффективность строительного производства. А совершенствование

строительных технологий часто происходит без учёта системности строительных процессов.

Как известно, каждый строительный процесс обладает таким свойством, как индивидуальность [7]. Изменение производительности в одном из составляющих процесса приводит обычно к изменению производительности всего комплексного процесса в целом. Это доказывает сложность и многообразие самих комплексных процессов и многофакторность воздействия на них различных условий. Вместе с этим, отсутствие необходимых методологических разработок не позволяет достоверно в необходимой степени оценивать фактическое состояние интенсификации используемых процессов, определить наиболее рациональные пути реализации возможностей для выбранной технологии, а также обосновать наиболее эффективные границы её использования и совершенствования. Как следствие мы можем наблюдать отклонения фактических сроков строительства от проектных и ненадлежащий уровень качества строительной продукции. Для того чтобы минимизировать данные последствия, необходимо триединое изучение влияния выбираемой технологии, людей и состояния применяемой техники на производительность строительных процессов и разработка методологии выявления и учёта данного влияния.

2. Материалы и методы.

Комплексные строительные процессы, это процессы особого рода, обладающие определёнными свойствами и имеющие ряд особенностей. Итогом каждого строительного процесса является доброкачественная строительная продукция. Но качество произведённой продукции не всегда гарантировано качеством проведения производственного процесса, так как у некоторых процессов время производства работ и физико-химических изменений в строительных материалах может иметь разные интервалы.

Ещё одна особенность строительных процессов заключается в том, что не каждая продукция строительного производства может быть зарезервирована, а сам процесс должен функционировать без простоев. Поэтому строительные процессы должны обладать необходимой и достаточной надёжностью, чтобы исключить возможность получения брака. Комплексно механизированные процессы, как правило, имеют низкую надёжность из-за преобладания в организации их функционирования последовательных или последовательно-параллельных технологических операций. Существующая нормативная документация не учитывает надёжность процессов ни на стадии их проектирования, ни на стадии строительства. Надёжность рабочих вообще не участвует в расчётах, надёжность техники учитывается коэффициентом использования машины по времени при расчёте производительности машины, что явно недостаточно для получения достоверных результатов при определении производительности строительного процесса и сроков строительства.

Инструментом для исследования вопросов надёжности строительных процессов является математическая теория надёжности. Надёжность любой системы определяется способностью сохранять заданные рабочие параметры в течении определённого расчётного срока. Это высказывание справедливо и для исследования строительных систем. За последние десятилетия за счёт технического прогресса, процессы проектирования и строительства промышленных и гражданских объектов перешли в разряд больших сложных систем, состоящих из множества подсистем, складывающихся из огромного количества элементов, носящих вероятностный характер и подчиняющихся законам теории вероятности. Благодаря этому, принятие организационных, технологических и экономических решений стало более сложным, как результат, получаем снижение надёжности систем строительного производства в целом. Следовательно, наблюдаем ухудшение фактических показателей (увеличение

сроков продолжительности строительства, снижение производительности труда, изменение стоимости строительства) по сравнению с запланированными.

Сложность решения проблемы надёжности в области строительства заключается в том, что математический аппарат теории надёжности, применяемый для технических систем, недостаточен для строительных систем, так как не учитывает экономических, организационных и технологических нюансов, определяющих причины отказов и надёжность строительных систем, а главное не учитывает роли человека в производственном процессе. Данный математический аппарат рассчитан на системы со стационарными режимами функционирования, строительные системы - это системы с динамическим режимом [5]. Для технических систем выход из строя какого-либо элемента или узла часто ведёт к полному отказу системы, а для строительных "характерными являются не полные отказы, а частные (сбои), которые самоустраняются в процессе непрерывного функционирования системы" [1]. Согласно математической теории надёжности, системы, состоящие из множества последовательно соединённых элементов, при увеличении в своём составе таких элементов резко снижают свою надёжность. И даже сравнительно небольшие системы, которые состоят из небольшого количества элементов с достаточно высокой средней надёжностью каждого элемента, будут на выходе иметь довольно низкую надёжность [2]. Исследуя строительные системы и сравнивая их с техническими, приходим к выводу, что даже при одинаковом количестве элементов и более низкой надёжности каждого из них, строительная система будет иметь более высокую надёжность в итоге, чем техническая. Это доказывает то, что строительные системы более гибкие, чем технические, легче резервируются и способны быстро перестраиваться. В технической системе надёжность напрямую зависит от надёжности составляющих её элементов, а в строительной от её гибкости. Это объясняется наличием в строительных системах "самого надёжного саморегулируемого" элемента системы – человека [1].

3. Результаты и обсуждения.

Надёжность участия человека в производственном процессе можно охарактеризовать, используя следующие понятия, применяемые в математической теории надёжности: вероятность безотказной работы, вероятность отказов, интенсивность отказов, интенсивность восстановлений, хотя и нельзя полностью перенести хорошо разработанные в теории надёжности понятия для техники на человека. Человек - это особый элемент строительной системы, которому присущи особые свойства. Под отказом человека будем понимать неспособность выполнения им заданных функций с требуемой точностью в определённый промежуток времени. Отказы человека в производственной системе могут быть временными или постоянными. Временные - это такие, которые не связаны с какими-либо изменениями в организме человека и могут быть устранены при повторном действии, например, ошибка в работе оператора. Постоянные связаны с изменениями в организме человека, например, болезнь. Каждый из элементов строительной системы (рабочие и техника) индивидуален, их отказы и восстановлений по количеству и продолжительности не зависят от других элементов. Следовательно, вероятность безотказной работы строительной системы $P(t)$ может быть выражена множеством:

$$\{\prod_{i=1}^n P_i(t) \times \prod_{j=1}^m P_j(t)\} \quad (1)$$

где:

$P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i -го рабочего системы;

$P_j(t)$ - вероятность безотказной работы j -ой машины или механизма системы.

Любой строительный процесс - это человеко-технологическая система, где рабочие и техника соединены определённым образом и, используя наиболее рациональную технологию, производят конечную продукцию. Одним из наиважнейших критериев в выборе количества и типов машин и числа и квалификации

рабочих, участвующих в строительном процессе, является технология производства работ [3]. Поэтому исследование любого строительного процесса с точки зрения большой системы необходимо одновременно относительно трёх факторов: технологического, человеческого и технического.

Каждый строительный процесс функционирует с определённой производительностью, которая обеспечивается необходимой надёжностью выполнения операций. Параметры надёжности заложены в структуре технологических операций, они могут быть описаны множеством:

- человеческие: $\{x_i\} (i = \overline{1, n})$,
- технические: $\{y_j\} (j = \overline{1, m})$,
- технологические: $\{z_l\} (l = \overline{1, k})$.

Технологические параметры надёжности являются основными, от них зависит количество рабочих, их квалификация, выбор машин и механизмов.

Исследуя процесс производства земляных работ с использованием экскаваторного комплекта техники в качестве примера, представим данный строительный процесс в виде большой системы. В процессе производства рабочие при помощи орудий труда преобразуют предмет труда из исходного состояния в готовую продукцию (земляное полотно). Преобразование предмета труда из одного состояния в другое происходит в соответствии с применяемой технологией на каждой из операций поэтапно [4]. Например, какая-то одна из систем большой системы C имеет n -ое количество операций, тогда степень преобразования предмета труда в этой системе может быть выражена следующей функцией:

$$П: C_l \rightarrow C_n = P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_n = \bigcup_{l=1}^n P_l, l = \overline{1, n} \quad (2)$$

Технологические операции состоят из конечного числа технологических действий. Степень преобразования предмета труда в пределах одной операции может быть представлена функцией:

$$P_l = P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_l = \bigcup_{j=1}^k P_j, j = \overline{1, k} \quad (3)$$

Поддержание строительного процесса по производству земляных работ на уровне стабильного функционирования должно происходить за счёт поддержания параметров надёжности самого строительного процесса, как большой системы, параметров надёжности технологических операций, как подсистем и на уровне составляющих каждой подсистемы, её элементов: рабочих и техники [6]. Следовательно, стабильно функционирующая строительная система должна иметь надёжность:

- на уровне i -го производственного процесса:

$$P_i(t) = \{P_i(t)\} (i = \overline{1, n}),$$

- на уровне l -й операции (ОП):

$$P_l(t) = \{P_l(t)\} (l = \overline{1, m}),$$

- на уровне j -го действия:

$$P_j(t) = \{P_j(t)\} (j = \overline{1, k}).$$

Так как l -я операция состоит из k элементов, а i -й процесс из m операций, то вероятность безотказной работы строительного процесса, как системы, может быть описана следующим математическим выражением:

$$P_i(t) = \prod_{l=1}^m P_l(t) \prod_{j=1}^k P_j(t) \quad (4)$$

Формализованную модель любого технологического процесса можно представить в виде математического соотношения множеств:

$$\begin{aligned} ТП = П: C_l \rightarrow C_m, \{x_c\}, \{y_c\}, \{z_c\} \\ ОП = P: j \rightarrow k, \{x_j\}, \{y_j\}, \{z_j\} \end{aligned} \quad (5)$$

где:

ТП - технологический процесс;

ОП - операция в технологическом процессе.

Учитывая свойство соподчинённости больших систем, структурно-целевую функцию поддержания рабочего состояния строительного процесса можно выразить в следующем виде:

$$\left(\begin{array}{l} \bigcup_{i=1}^n \{PP_i(t)\} \\ \bigcup_{j=1}^k \{PP_j(t)\} \end{array} \right) \bigcup_{l=1}^m \{PP_l(t)\} \rightarrow \max \quad (6)$$

Сущность полученного математического выражения заключается в том, что поддержание функционального постоянства большой системы полностью зависит от обеспечения максимальной вероятности безотказного выполнения операций производственных процессов. В полученной структурно-целевой функции $P_i(t), P_j(t), P_l(t)$ - вероятности безотказной работы человеко-технической системы на первичных уровнях данного процесса.

При помощи системно-структурного анализа технологий производства земляных работ, используя теоретико-множительные понятия теории систем, любой из технологических процессов возможно представить в виде математической модели, состоящей из множества операций, надёжность выполнения которых зависит от большого числа технологических, человеческих и технических параметров [8]. Для того чтобы выбрать оптимальные параметры надёжности на уровне производственных процессов, операций, действий, следует рассмотреть множество параметров ограничений на уровне процессов: $\{\bar{x}_i\}, \{\bar{y}_i\}, \{\bar{z}_i\}$, на уровне технологических операций: $\{\bar{x}_j\}, \{\bar{y}_j\}, \{\bar{z}_j\}$, на уровне технологических действий: $\{\bar{x}_l\}, \{\bar{y}_l\}, \{\bar{z}_l\}$. Задача оптимального выбора параметров надёжности имеет решение, если удовлетворяется условие пересечения множества параметров надёжности с множеством параметров-ограничений:

$$\left(\begin{array}{l} \{x_i\} \cap \{\bar{x}_i\} \neq 0 \\ \{y_i\} \cap \{\bar{y}_i\} \neq 0 \\ \dots \dots \dots \\ \{z_i\} \cap \{\bar{z}_i\} \neq 0 \\ \dots \dots \dots \\ \{z_j\} \cap \{\bar{z}_j\} \neq 0 \end{array} \right) \quad (7)$$

Таким образом, структурно-математическая модель технологического процесса производства земляных работ экскаваторным комплектом будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} & A \cap \left(\left[\begin{array}{c} B_1 \\ \downarrow \\ B_n \end{array} \right] \cup \{x_B\} \cup \{y_B\} \right. \\ & \left. \cup \{z_B\} \right] \bigcup \left[\begin{array}{c} C_1 \\ \downarrow \\ C_n \end{array} \right] \cup \{x_C\} \cup \{y_C\} \\ & \left. \cup \{z_C\} \right] \bigcup \left[\begin{array}{c} D_1 \\ \downarrow \\ D_n \end{array} \right] \cup \{x_D\} \cup \{y_D\} \cup \{z_D\} \bigcup \left[\begin{array}{c} F_1 \\ \downarrow \\ F_n \end{array} \right] \cup \{x_F\} \cup \{y_F\} \\ & \left. \cup \{z_F\} \right] \bigcup \left. \right) \quad (8) \end{aligned}$$

где:

A - большая система производства земляных работ;

B, C, D, F - подсистемы большой системы - операции;

В - экскавация грунта;
С - транспортирование грунта самосвалами;
D - планирование грунта бульдозерами;
F - уплотнение уплотняющей техникой.

Решение структурно-формализованной функции (8) будет оптимальным при соблюдении условия (7).

4. Выводы.

Исходя из выше сказанного можно сделать следующий вывод: для того, чтобы оценить влияние параметров надёжности элементов составляющих производственный процесс на производительность данного процесса и сроки производства работ, необходимо найти фактические значения параметров надёжности элементов процесса исходя из технологии производства работ, структурных связей и расположения элементов в процессе как системе [9]. Если система функционирует без сбоев, то и производительность процесса высока, а сроки оптимальны. Если в системе происходят сбои, то в зависимости от соединения элементов в структуре процесса, от места нахождения данного элемента в данной структуре мы получим изменения в производительности и сроках производства работ. Следовательно, можно отметить, что надёжность элементов составляющих производственный процесс определённым образом влияет на функционирование строительного процесса, но в полной мере исследование данного вопроса возможно только с учётом триединого влияния технологических, человеческих и технических факторов.

1. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М., Стройиздат. 1993. 440с.
2. Губинский А.И. Надёжность и качество функционирования эргатических систем. Л., Наука. 1982. 262с.
3. Неснов В.И. Бизнес и политика в теории эргатических систем. СПб. 2000. 142с.
4. Панченко Н.М. Методологические основы комплексного проектирования сложных строительных процессов (на примере производства земляных работ). Автореферат диссертации. СПб., 1999. 25 с.
5. Спиридонов Э.С., Максимов А.В. Научные основы оптимизации организации и управления комплексом работ по переустройству транспортных объектов. – М.: Известия, 1998, 290 с.
6. Панченко Н.М. К вопросу выбора комплекта строительной техники при производстве земляных работ. Вопросы образования и науки. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 30 июня 2020 г. Часть 1. Тамбов 2020. Стр. 85-87
7. Панченко Н.М., Басовский Д.А. Специфические особенности строительных процессов. Актуальные проблемы развития транспортной инфраструктуры. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург 2018. Стр. 233-236
8. Панченко Н.М. К проблеме надёжности строительных процессов и путям её решения. Наука, образование, общество. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 29 февраля 2016 г. Часть 2 Тамбов 2016. Стр. 86-88
9. Панченко Н.М. Человеко-технические системы на макро- и микроуровнях. Наука, образование, общество. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 30 сентября 2016 г. Часть 2 Тамбов 2016. Стр. 91-94