

## Особенности оценки надежности строительных потоков

*Докторант ГОУ СПбГПУ, к.т.н. Г.И. Абдулаев; д.т.н., профессор В.З. Величкин\**

Поточная организация работ является наиболее совершенной формой производства работ. При большом многообразии отраслей строительного производства строительство линейно-протяженных сооружений, таких как линии метрополитена, более других приспособлено к организации потоков. Комплексный поток, состоящий из ряда простых однородных потоков, позволяет осуществлять выпуск готовой строительной продукции с установленным ритмом.

Однако любой строительный поток функционирует под воздействием большого числа дестабилизирующих факторов. Происходят сбои в поставках материалов и конструкций, задерживаются поступления финансовых средств, возникают поломки и остановки машин и механизмов, оперативно меняются параметры и показатели реализуемых планов и многое другое. Поэтому управление строительным потоком целесообразно рассматривать в условиях функционирования вероятностной системы.

При строительстве линейно-протяженных сооружений (ЛПС) в реальных условиях ритмичность работы потока и равномерность выпуска строительной продукции претерпевают значительные колебания. Проводимые административные и управленческие мероприятия позволяют улучшить степень выполнения плановых показателей, но из-за стохастичности производства достаточно часто выполнить все установки плана не удается. Для повышения надежности выполнения плановых показателей и обеспечения ритмичности функционирования потока необходимо применение специальных методов.

Как известно, надежность включает в себя четыре составляющих: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость [1]. Для строительного потока в общем случае можно понимать свойство потока сохранять свои параметры в заданных пределах. Основным параметром потока является ритмичность и равномерность выпуска продукции. Тогда безотказность строительного потока есть его ритмичность в заданных пределах, а под отказом понимается резкое отклонение интенсивности выпуска строительной продукции.

Рассматривая появление отказов как поток требований на их устранение, можно описать процесс с помощью функций Пуассона:

$$Pk(t) = (\lambda t)^k x e^{-\lambda t} / k!,$$

где  $\lambda$  – математическое ожидание числа отказов (требований на их устранение);

$Pk(t)$  – вероятность поступления  $k$  отказов в течение времени  $t$ .

К критериям оценки надежности потока можно отнести следующие показатели:

- вероятность функционирования потока с запланированным ритмом и интенсивностью выпуска строительной продукции;
- математическое ожидание и дисперсия объемов выпускаемой строительной продукции в запланированные сроки;
- вероятность выполнения требуемого объема продукции в заданный срок;
- вероятность безотказной работы потока с учетом возникающих срывов и задержек.

Для оценки надежности потока по показателю вероятности функционирования с заданным ритмом и интенсивностью выпуска продукции необходимо принять закон распределения вероятности. Исследованиями [2] показано, что разброс интенсивности выпуска продукции соответствует нормальному распределению. Тогда вероятность интенсивности выпуска готовой строительной продукции (например, в виде длины готовой части тоннеля метрополитена) в установленных пределах в виде нескольких процентов от заданной величины можно определить из выражения

$$P(L1 \leq L \leq L2) = (1/\sqrt{2\pi})x \int_0^{L2-L^2/2} e^{-x^2} dx - (1/\sqrt{2\pi})x \int_0^{L1-L^2/2} e^{-x^2} dx,$$

где  $L1-L2$  — интервал, в пределах которого допустимо колебание интенсивности выпуска строительной продукции;

$L^2$  — квадратное значение запланированной величины интенсивности выпуска строительной продукции.

При оценке вероятности появления отказов по функции Пуассона устанавливается частота реагирования органа управления для удержания интенсивности выполнения работ в заданном интервале  $L1-L2$ .

При обеспечении необходимого уровня надежности возникает задача формирования экономически целесообразных методов стабилизации строительного производства. Выбор экономически эффективных методов необходимо согласовывать с оптимальным уровнем надежности, увязанным с оптимальными сроками строительства ЛПС. Такой подход представляет достаточно сложную организационно-технологическую и математическую задачу, для решения которой необходимо проведение некоторых дополнительных исследований.

В общем случае наиболее эффективным методом повышения надежности равномерного и своевременного выполнения строительно-монтажных работ является резервирование материально-технических ресурсов и резервирование сроков окончания работ. Менее известными и редко применяемыми методами являются резервирование технологии выполнения работ и организации работ. Резервирование технологии можно осуществить через разработку по каждому виду работ возможных вариантов технологии их выполнения и составления альтернативной сети в виде циклограммы или графика. В соответствии с возникающими отказами и задержками на альтернативной сети выбирается технология, обеспечивающая выполнение плановых показателей.

Резервирование организации работ можно осуществить через резервирование фронтов работ, резервирование методов организации работ в альтернативном варианте или объединение или разъединение частных потоков. Изменение числа частных фронтов работ, перевод строительного потока с одного метода организации работ на другой, объединение или разъединение частных потоков хотя и не требуют значительных затрат, но должны осуществляться на фоне экономической оптимизации. Другие методы повышения надежности требуют значительно больших экономических издержек.

Для ведения работ с заданным уровнем надежности в общем виде можно применять следующую математическую модель. В качестве целевой функции принимаем затраты на поддержание требуемого уровня надежности.

$$Z_{nn} = \sum_{j=1}^m (Z_{ppj} + Z_{срj} + Z_{техj} + Z_{оргj}) \rightarrow \min$$

Ограничения:

$$P(L1t) \leq P(Lt) \leq P(L2t) \text{ при } t = 1..T_{дир};$$

$$P(T1_j^{OK}) \leq P(T_{плj}^{OK}) \leq P(T2_j^{OK}) \text{ при } j = 1..m;$$

$$P(T3_i^{OK}) \leq P(T_{плi}^{OK}) \leq P(T4_i^{OK}) \text{ при } i = 1..n.$$

$Z_{ppj}$ ,  $Z_{срj}$ ,  $Z_{техj}$ ,  $Z_{оргj}$  – затраты на резервирование материально-технических ресурсов, сроков выполнения работ, технологии и организации работ соответственно по  $j$ -му частному потоку (виду работ);

$P(Lt)$  – вероятность выполнения объема работ  $L$  на временном этапе  $t$  в пределах от  $L1$  до  $L2$ ;

$T_{плj}^{OK}$  – вероятность завершения работ по  $j$ -му частному потоку в плановый срок  $T_{плj}$  в пределах  $T1_j$  и  $T2_j$ ;

$T_{плi}^{OK}$  – вероятность завершения работ по  $i$ -му частному фронту работ в плановый срок  $T_{плi}$  в пределах  $T3_i$  и  $T4_i$ ;

$m$  — количество частных потоков (видов работ) в общем потоке;

$n$  – количество частных фронтов работ в общем потоке.

Расчет поточной организации работ при строительстве ЛПС с заданным уровнем надежности на основе приведенной экономико-математической модели позволяет добиться ощутимого снижения затрат на реализацию принятого проекта за счет ритмичности и исключения потерь при неожиданных отказах и задержках в выполнении работ.

### Литература

1. Заренин Ю.Г., Збырко М.Д и др. Надежность и эффективность АСУ. М., 1975.
2. Хастингс Н., Пикок Д. Справочник по статистическим распределениям. М., 1980.
3. Маилян Л.Р. и др. Справочник современного строителя. Ростов-на Дону, 2006.
4. Гинзбург А.В. Автоматизация проектирования организационно-технологической надежности строительства. М., 1999.

\*Виктор Захарович Величкин, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Тел. раб. 297-59-49; тел. моб.: +7(921)398-88-86, +7(921)654-54-68