

Мочалин Сергей Михайлович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, декан факультета «Экономика и управление» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: mochalin_sm@mail.ru).

Safronov Kirill Eduardovich (Russian Federation, Omsk) – candidate the technical sciences, associate professor of The Siberian state automobile and highway

academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: transistem@rambler.ru).

Mochalin Sergei Mikhailovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, Dean of the Faculty “Economics and Management” of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: mochalin_sm@mail.ru).

УДК 69.002.5

ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЦЕПНЫМИ ТРАНШЕЙНЫМИ ЭКСКАВАТОРАМИ

С.В. Сухарева, Р.Ю. Сухарев
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье предложены новые интегральные критерии качества переходных процессов систем автоматического управления, которые могут быть использованы в качестве критериев качества земляных работ, выполняемых траншейными экскаваторами. Применение данных критериев и критериев, основанных на следующих производных параметров траншеи, для оценки качества работ, выполняемых цепными траншейными экскаваторами, позволит проводить синтез САУ ЦТЭ на основе функциональной связи интегральных критериев с параметрами САУ.

Ключевые слова: траншея, критерий качества, экскаватор, цепной, трубопровод, управление, система.

Введение

Траншеи являются временными выемками. После укладки в них трубопроводов, кабелей и т.п. траншеи засыпаются, поэтому их дефекты, отклонения от проектных норм в большинстве случаев остаются скрытыми для окружающих. Траншеи и каналы часто копают драглайнами или обратными лопатами. Однако при этом выемки получаются с неровными стенками и дном. Поперечное сечение выемки имеет значительно большие размеры, чем это требуется по условиям производства работ. Перед укладкой в них труб, кабелей и др. затрачивается большое количество ручного труда на выполнение зачистных работ. Иными словами качество земляных работ не соответствует требованиям проектной документации.

В настоящее время показатели качества траншей, канав и каналов различного назначения регламентируются требованиями СНиП по геометрической точности [1,2,3,4,5,6,7].

Отклонения продольного уклона водоотводных канав от проектного значения $\pm 0,0005$. Отклонения параметров дренажа от проектных не должны превышать: отметка устья коллектора или дрены $\pm 0,03$ м; отклонения отметок дна траншеи для труб приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Отметка дна траншеи для труб /1,3/

Диаметр трубы, м	Отклонение отметки дна траншеи, м
0,05	Не более 0,015
0,07÷0,125	Не более 0,02
0,15÷0,25	Не более 0,03

Продольный уклон траншей на участках длиной 100 м $\pm 0,0005$.

Отклонения от проектного положения осей напорных трубопроводов не должны превышать $\pm 1,0$ м в плане, отметок лотков безнапорных трубопроводов $\pm 0,005$ м, отметок верха напорных трубопроводов $\pm 0,30$ м [3]. При выполнении земляных работ цепными траншейными экскаваторами (ЦТЭ) благодаря минимальному сечению вырытой ими выемки, ровным стенкам и дну дополнительных зачистных работ обычно не требуется. Эти факторы в сочетании с повышенной в полтора-два раза, по сравнению с одноковшовыми экскаваторами, производительностью позволяют в 2–2,5 раза снизить стоимость работ по рытью траншей и каналов. ЦТЭ является специализированной землеройной машиной непрерывного действия, обладающей активным рабочим органом (РО). Применение дополнительного оборудования

позволяет использовать ЦТЭ для различных целей, например [9]: прокладки трубопроводов различного назначения (газо- и нефтепровод, водопровод); прокладки кабеля; рытья каналов и прокладки дренажных систем; рытья траншей под фундаменты зданий и сооружений; нарезании щелей в мерзлом грунте для последующей его разработки; вскрытия трубопроводов при выполнении ремонтных работ.

Качество работ ЦТЭ определяется прямолинейностью, уклоном и ровностью дна траншеи (канала).

Интегральные критерии качества

Основным недостатком показателей качества траншей, представленных в СНиП, является невозможность их использования для дальнейшего совершенствования конструкций ЦТЭ и их систем автоматического управления (САУ).

В связи с этим, в качестве критериев качества, характеризующих неровности дна выемки, отклонения основных геометрических параметров траншеи от проектной документации, и одновременно качества САУ ЦТЭ предлагаются следующие интегралы [8]:

$$J_1 = \int_0^{\infty} \Delta x(t) dt; \quad (1)$$

$$J_2 = \int_0^{\infty} (\Delta x)^2 dt; \quad (2)$$

$$J_3 = \int_0^{\infty} \left[(\Delta x)^2 + T^2 \left(\frac{d\Delta x}{dt} \right)^2 \right] dt, \quad (3)$$

где $\Delta x = x(\infty) - x(t)$ – отклонение выходной величины x от значения $x(\infty)$, которое соответствует проектной документации; T – коэффициент, определяющий относительный вес слагаемых J_3 от Δx и $\frac{d\Delta x}{dt}$.

В качестве независимой переменной может служить время движения ЦТЭ t или при $V=const$ путь, пройденный ЦТЭ:

$$l = t \cdot V, \quad (4)$$

где V – поступательная скорость ЦТЭ.

Критерий J_1 геометрически представляет собой заштрихованную площадь на рис. 1, а.

Переходный процесс, показанный на рисунке 1, а, вызван возмущением, например, наездом ЦТЭ на неровность или резким изменением силы реакции разрабатываемого грунта на РО. Переходный процесс на рисунке 1, б вызван изменением задающего воздействия на привод РО или наездом ЦТЭ на ступенчатую неровность. Чем меньше заштрихованная площадь, тем предпочтительнее переходный процесс [8].

Этот и остальные интегральные критерии качества могут быть использованы не только для оценки качества траншеи, но и при синтезе САУ для оптимизации варьируемых параметров. Абсолютное значение критерия J_1 при этом не так важно. Используя готовые выражения для J_1 и передаточные функции системы можно получить зависимости критерия J_1 от варьируемых параметров САУ и найти их оптимальные значения.

Интегральный критерий J_1 можно применять к системам, у которых переходные процессы не меняют знака, т.е. графики расположены строго выше или ниже оси абсцисс. Если же переходный процесс обладает колебательностью и меняет знак, то критерий J_1 не может применяться, т.к. площади разных знаков будут вычитаться друг из друга. Например, ухудшение качества переходного процесса при незатухающих колебаниях (рис. 1, в) приведет к уменьшению J_1 до нуля. Поэтому, при колебательных переходных процессах или знакопеременных отклонениях геометрических размеров траншеи (глубина, уклон и др.) целесообразно использовать квадратичный критерий J_2 . Однако, выбор варьируемых параметров САУ по минимуму J_2 , может привести к появлению большой колебательности. В этом случае можно перейти к интегральному критерию J_3 .

Критерий J_3 состоит из двух частей и может быть представлен в виде двух интегралов. Первый интеграл – это J_2 , а второй – интеграл от скорости изменения Δx . Если при одном и том же значении площади, т.е. первого интеграла, замедлить процесс во времени, то второй интеграл уменьшится. Следовательно, минимум интегрального критерия J_3 по сравнению с J_2 будет соответствовать более медленному и менее колебательному процессу. При этом замедление процесса будет пропорционально величине T [8].

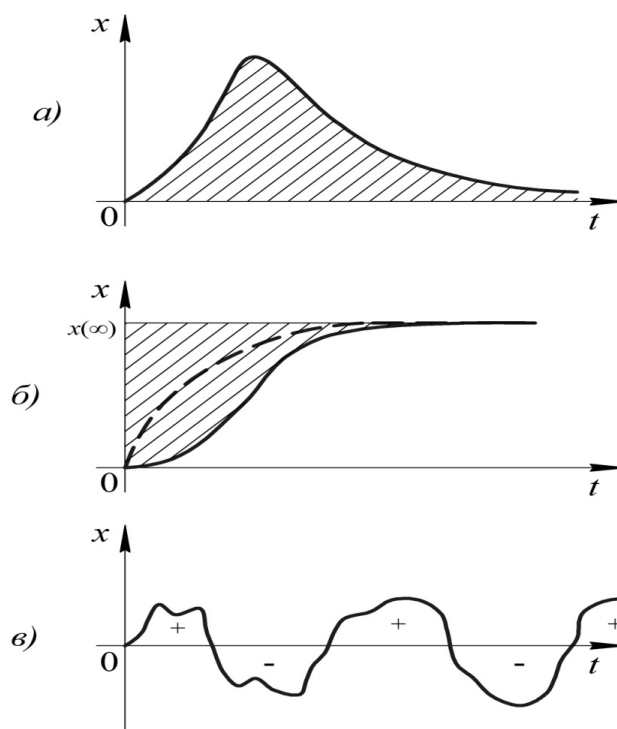


Рис. 1. Интегральные критерии качества

Разница между критериями J_3 и J_2 хорошо видна на рисунке 1, б. При использовании критерия J_2 идеальным графиком переходного процесса будет ступенька высотой $x(\infty)$, а при использовании критерия J_3 – экспонента

$\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)x(\infty)$ (штриховая кривая на рисунке 1, б). Математически это выглядит следующим образом:

$$J_3 = \int_0^{\infty} \left[(\Delta x)^2 + T^2 \left(\frac{d\Delta x}{dt} \right)^2 \right] dt = \int_0^{\infty} \left(\Delta x + T \frac{d\Delta x}{dt} \right)^2 dt - \int_0^{\infty} 2T\Delta x \frac{d\Delta x}{dt} dt = (5)$$

$$= \int_0^{\infty} \left(\Delta x + T \frac{d\Delta x}{dt} \right)^2 dt - T[\Delta x(0)]^2.$$

Таким образом, J_3 будет минимален при

$$\Delta x + T \frac{d\Delta x}{dt} = 0, \quad (6)$$

т.е. когда $\Delta x(t) = \Delta x(0)e^{-\frac{t}{T}}$ или, так как $\Delta x(t) = x(\infty) - x(t)$, когда

$$x(t) = \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)x(\infty)$$

Можно использовать и более сложные интегральные критерии качества, основанные на второй и следующих производных от Δx . Их применение приблизит переходные про-

цессы САУ к кривым второго и более высоких порядков.

Вывод

Интегральные критерии используются при исследованиях качества переходных процессов, вызванных основными воздействиями. Эти критерии позволяют учесть конкретную форму воздействия и начальные условия. Применение данных критериев для оценки качества работ, выполняемых цепными траншейными экскаваторами, позволит проводить синтез САУ ЦТЭ на основе функциональной связи интегральных критериев с параметрами САУ.

Библиографический список

1. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП, 1986. – 72 с.
3. СНиП 2.05.13-90. Нефтепродуктопроводы, прокладываемые на территории городов и других населенных пунктов. – М.: Стройиздат, 1988. – 7с.
4. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – М.: ЦИТП, 1986. – 59 с.
5. СНиП 3.05.04-85. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. – М.: ЦИТП, 1990. – 48 с.
6. СНиП 3.07.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – М.: ЦИТП, 1986. – 16 с.
7. СП 42-101-96. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб диаметром до 300 мм. – М.: Стройиздат, 1997. – 75 с.

8. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.

9. Щербakov В.С. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора: монография / В.С. Щербakov, Р.Ю. Сухарев. – Омск: СибАДИ, 2011. – 150 с.

JUSTIFICATION OF THE INTEGRATED QUALITY CRITERIA OF EARTHWORKS, MADE OF CHAIN TRENCH EXCAVATORS

S.V. Sukhareva, R.Y. Sukharev

Abstract. In article new integrated criteria of quality of transition processes of systems of automatic control which can be used as criteria of quality of the earthwork performed by trench excavators are offered. Application of these criteria and criteria based on the following derivative parameters of a trench for an assessment of quality of the works performed by chain trench excavators will allow to carry out synthesis of SAU TsTE on the basis of functional communication of integrated criteria with the SAU parameters.

Keywords: trench, quality, excavator, chain, pipeline, management, system.

References

1. SNiP 2.04.02-84. Water. External networks and facilities. Moscow, Stroizdat, 1985. 136 p.

2. SNiP 2.04.03-85. Sewerage. External networks and facilities. Moscow, CИTP, 1986. 72 p.

3. SNiP 2.05.13-90. Pipelines laid on the territories of cities and other settlements. Moscow, Stroizdat, 1988. 7 p.

4. SNiP 2.06.03-85. Drainage systems and structures. Moscow, CИTP, 1986. 59 p.

5. SNiP 3.05.04-85. External networks and constructions of water supply and sanitation. Moscow, CИTP, 1990. 48 p.

6. SNiP 3.07.03-85. Drainage systems and structures. Moscow, CИTP, 1986. 16 p.

7. JV 42-101-96. The design and construction of gas pipelines from polyethylene pipes with a diameter up to 300 mm. Moscow, Stroyizdat publ., 1997. 75 p.

8. Yurevich E.I. *Teorija avtomaticheskogo upravlenija* [Theory of automatic control]. St. Peretsburg, BHV-Petersburg, 2007. 560 p.

9. Shcherbakov V.S. Sukharev R.Y. *Sovershenstvovanie sistemy upravlenija rabochim organom cepnogo transhejnogo jekskavatora* [Improvement of the control system working body of the chain trench excavator]. Омск: SibADI, 2011. 150 p.

Сухарева Светлана Витальевна (Россия, Омск) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление предприятиями» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail sveta_omsk2005@mail.ru).

Сухарев Роман Юрьевич (Россия, Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail suharev_ry@sibadi.org).

Sukhareva, Svetlana V. (Russian Federation, Омск) – candidate of economic Sciences, docent of Department "Economics and enterprise management" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Омск, Mira, 5, e-mail sveta_omsk2005@mail.ru).

Sukharev Roman Y. (Russian Federation, Омск) – candidate of technical sciences, docent of the department "Automation of production processes and electrical engineering" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Омск, Mira, 5, e-mail suharev_ry@sibadi.org).