

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_393-398

УДК 630*323.12

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

TECHNOLOGICAL PROCESS OF LOGGING WORKS AS AN OBJECT OF AUTOMATED REGULATION AND CONTROL

Черных А.С., кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Афоничев Д.Н., доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I», Воронеж, Россия.

Абрамов В.В., кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Гудков А.Ю., кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Коробкин А.В., инженер ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж.

Полукаров Д.А., аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Савченко С.И., аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Chernykh A.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Afonichev D.N., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia.

Abramov V.V., Candidate of Technical Sciences, associate professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Gudkov A.Y., Candidate of Technical Sciences, associate professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Korobkin A.V., engineer, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Polukarov D.A., Graduate student Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Savchenko S.I., Graduate student Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Аннотация: Статья посвящена теории автоматического регулирования и управления производственным процессом лесосечных работ. Предложено общее выражение для определения передаточной функции всего технологического процесса лесосечных работ, а также формулы для определения передаточных функций его отдельных звеньев.

Abstract: The article is devoted to the theory of automatic regulation and management of the production process of logging operations. A general expression for determining the transfer function of

the entire technological process of logging operations, as well as formulas for determining the transfer functions of its individual links are proposed.

Ключевые слова: лесозаготовки, лесосечные работы, автоматизированное регулирование, управление производственным процессом.

Keywords: logging, logging operations, automated control, production process management.

С позиции теории автоматического регулирования и управления производственный процесс лесосечных работ можно рассматривать как совокупность динамических звеньев. Каждое динамическое звено характеризуется передаточной функцией $K_{(p)}$, входными и выходными переменными, в качестве которых можно принять объем древесины, поступающей на обработку к определённой операции (лесозаготовительной машине), и объем древесины, получаемой в результате выполнения операции (рис.1).

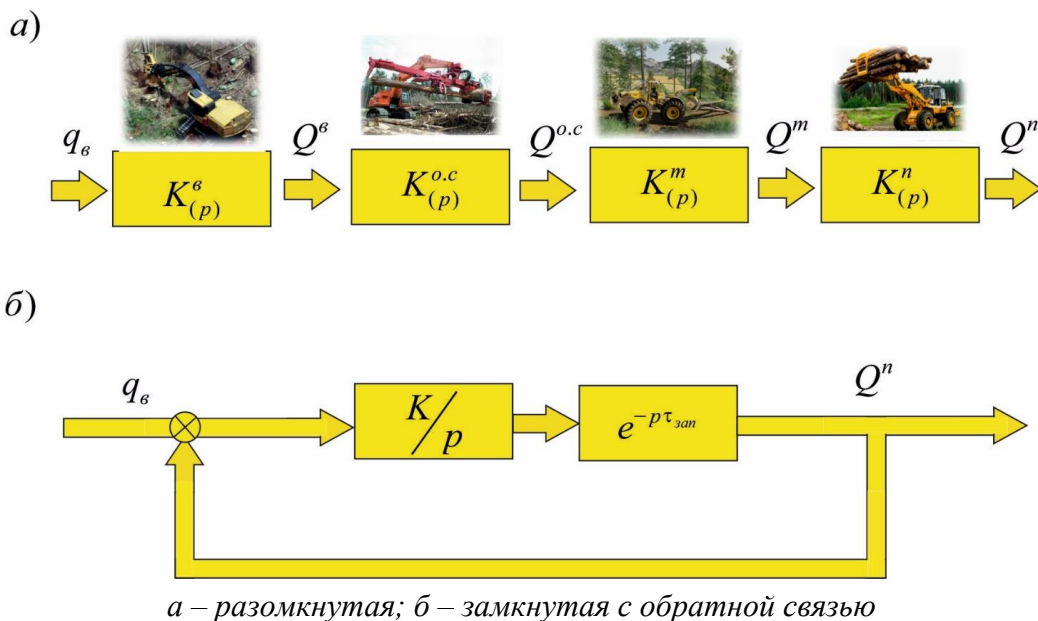


Рисунок 1 – Структурная схема технологического процесса лесосечных работ как объекта автоматизированного управления

В качестве примера на рис.1 представлена структурная схема одного из вариантов технологического процесса лесосечных работ (валочно-пакетирующая машина ВПМ + трелевочная машина ТМ + сучкорезная машина СМ + погрузочная машина ПМ) как объекта управления. Если производительность обозначенной системы машин принять соответственно за $\Pi_{см}^e, \Pi_{см}^m, \Pi_{см}^{o.c}, \Pi_{см}^n$, то

$$\Pi_{ч}^e = \frac{\Pi_{см}^e}{T_o}; \Pi_{см}^m = \frac{\Pi_{см}^m}{T_o}; \Pi_{см}^{o.c} = \frac{\Pi_{см}^{o.c}}{T_o}; \Pi_{см}^n = \frac{\Pi_{см}^n}{T_o}, \quad (1)$$

т.е. получим значения часовой производительности каждой из участвующих в процессе машины с учётом эксплуатационной надежности.

Тогда объем древесины, заготовленной (обработанной) на каждой k -ой из K операций процесса за любой промежуток времени (например, за смену) определится по формуле

$$Q_k = \sum_{t=0}^{T_0} \Pi_q^k t_k. \quad (2)$$

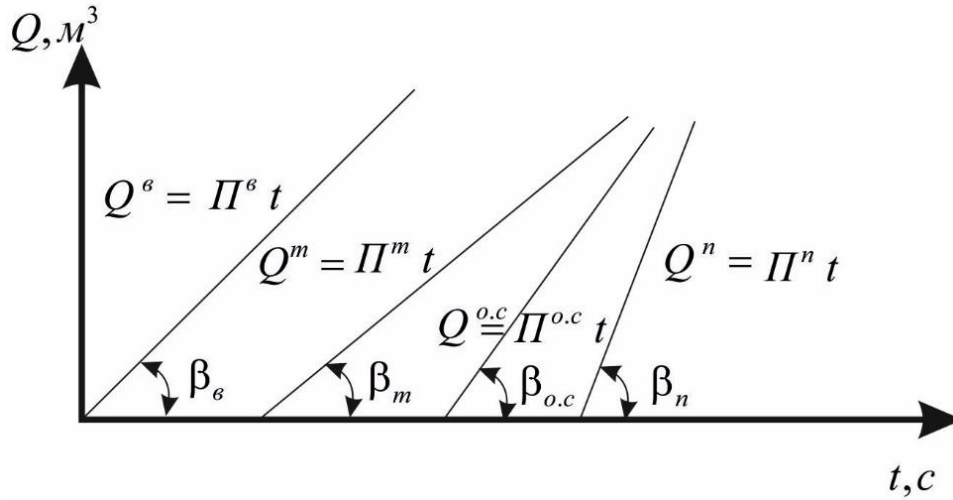


Рисунок 2 – График функций $Q_k = f(t)$ при $\Pi_k = const$

Передаточная функция процесса в целом, как совокупности отдельных динамических звеньев, представляющей собой разомкнутую систему, будет

$$K_{(p)}^{np} = \prod_{k=1}^K K_{(p)} k, \quad (3)$$

где K - число последовательно соединённых звеньев в системе (совокупность K операций в рассматриваемом процессе).

Если в производственной единице (например, комплексной бригаде работает Z_ϵ валочно-пакетирующих машин, Z_m трелёвочных тракторов, $Z_{o.c.}$ сучкорезных машин и Z_n челюстных погрузчиков, то

$$K_{(p)}^{np} = \prod_{k=1}^K \sum_{z=1}^{Z_k} K_{(p)} k_z, \quad (4)$$

где $K_{(p)} k_z$ - передаточная функция каждой из Z_k машин, выполняющих k -ую (из K) операцию;

Z_k - число машин в структуре производственной единицы, выполняющих k -ую операцию.

В случае, если производительность каждой из Z_k лесозаготовительных машин, работающих в аналогичных природно-производственных условиях одинакова, то

$$K_{(p)}^\epsilon = Z_\epsilon K_{(p)}^\epsilon; K_{(p)}^m = Z_m K_{(p)}^m; K_{(p)}^{o.c.} = Z_{o.c.} K_{(p)}^{o.c.}; K_{(p)}^n = Z_n K_{(p)}^n. \quad (5)$$

В противном случае

$$K_{(p)}^\epsilon = \sum_{z=1}^{Z_\epsilon} K_{(p)}^\epsilon z; K_{(p)}^{o.c.} = \sum_{z=1}^{Z_{o.c.}} K_{(p)}^{o.c.} z; K_{(p)}^m = \sum_{z=1}^{Z_m} K_{(p)}^m z; K_{(p)}^n = \sum_{z=1}^{Z_n} K_{(p)}^n z. \quad (6)$$

Из теории автоматического регулирования известно, что передаточной функцией объекта регулирования или управления называется отношение преобразования по Лапласу

выходной величины к изображению по Лапласу входной величины при нулевых начальных условиях.

Пусть объем древесины, который следует обработать за некоторый промежуток времени t , будет q^e , м³/ч. Он представляет собой входную величину на первой операции лесосечных работ. Выходной величиной на первой операции является объем древесины, фактически сформированный в пакеты за промежуток времени t . Согласно определению, передаточную функцию звена «валка» найдем по формуле

$$K_{(p)}^e = \frac{\int_0^{\infty} \prod^e t^{-pt} dt}{\int_0^{\infty} q^e e^{-pt} dt} = \frac{\prod^e}{q^e p}. \quad (7)$$

По аналогии, передаточная функция операции «трелёвка» будет

$$K_{(p)}^m = \frac{\int_0^{\infty} \prod^m (t - \tau_1) e^{-pt} dt}{\int_0^{\infty} \prod^e t e^{-pt} dt} = \frac{\prod^m}{\prod^e} e^{-p\tau_1}; \quad (8)$$

операция «очистка от сучьев»

$$K_{(p)}^{o.c} = \frac{\int_0^{\infty} \prod^{o.c} (t - \tau_2) e^{-pt} dt}{\int_0^{\infty} \prod^m (t - \tau_1) e^{-pt} dt} = \frac{\prod^{o.c}}{\prod^m} e^{-p(\tau_2 - \tau_1)}; \quad (9)$$

а операция «погрузка»

$$K_{(p)}^n = \frac{\int_0^{\infty} \prod^n (t - \tau_{зан}) e^{-pt} dt}{\int_0^{\infty} \prod^{o.c} (t - \tau_2) e^{-pt} dt} = \frac{\prod^n}{\prod^{o.c}} e^{-p(\tau_{зан} - \tau_2)}, \quad (10)$$

где $\tau_{зан}$ - время транспортного запаздывания операции «погрузка» по сравнению с операцией «валка», с;

$(\tau_{зан} - \tau_1)$ - время запаздывания погрузки по сравнению с трелёвкой, с;

$(\tau_{зан} - \tau_2)$ - время запаздывания погрузки по сравнению с очисткой стволов от сучьев, с.

Вполне очевидно, что $(\tau_{зан} - \tau_1)$ составляет общую продолжительность процесса.

Передаточная функция процесса лесосечных работ для рассматриваемого варианта будет:

а) для разомкнутой системы с отрицательной обратной связью (рис. 1, а)

$$K_{(p)}^{раз} = K_{(p)}^6 K_{(p)}^m K_{(p)}^{o.c} K_{(p)}^m = \frac{\prod^n}{q^6 p} e^{-p \tau_{зан}}, \quad (11)$$

б) для замкнутой системы при последовательном соединении звеньев (рис. 1, б)

$$K_{(p)}^{зам} = \frac{K_{(p)}^{раз}}{1 + K_{(p)}^{раз}} = \frac{\prod^n e^{-p \tau_{зан}}}{q^6 p + \prod^n e^{-p \tau_{зан}}}. \quad (12)$$

Таким образом, нами получены: общее выражение для определения передаточной функции процесса - формула (4), формулы (7-10) для определения передаточных функций отдельных звеньев для рассматриваемого в качестве примера варианта технологического процесса лесосечных работ и формула (11), по которой можно определить значение передаточной функции этого варианта процесса. В совокупности они позволяют предварительно оценить технологический процесс как объект управления [5, 9]. Однако для более полной оценки необходимо также знать динамические характеристики, устойчивость и инерционность отдельных операций и процесса в целом.

Список литературы

1. Абрамов, В. В. Разработка и обоснование эффективной технологии трелевки в малолесных районах : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01: защищена 24.04.09 / В. В. Абрамов; Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2009. - 366 с.
2. Афоничев, Д.Н. Обоснование протяженности лесовозного уса / Д.Н. Афоничев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 3. – С. 85–88.
3. Афоничев, Д.Н. Размещение лесовозного уса на лесосеке / Д.Н. Афоничев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2009. – № 3. – С. 92–94.
4. Афоничев, Д.Н. Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах / Д.Н. Афоничев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 6. – С. 93–96.
5. Бондаренко, А. В. Моделирование природно-производственных условий в задачах исследования первичного транспорта леса в горной местности / А. В. Бондаренко, В. В. Абрамов, Ф. В. Пошарников // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 2. - URL: www.science-education.ru/102-5518.
6. Григорьев, И.В. Средащадящие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. – СПб.: ЛТА, 2008. – 174 с.
7. Заикин, А.Н. Теория, методы и модели интенсификации лесосечных работ / А.Н. Заикин. – Брянск: БГИТА, 2009. – 212 с.
8. Исследование технологических вариантов выполнения обрабатывающих операций лесосечных работ бензопилами / И. Н. Троянов, В. В. Абрамов, Л. Д. Бухтояров, Д. Н. Афоничев, А. С. Черных, А. И. Максименков // Лесотехнический журнал. - 2019. - Т. 9, № 3 (35). - С. 114-130.

9. Пошарников, Ф. В. Разработка математической модели трелевки древесины в условиях несплошных рубок / Ф. В. Пошарников, В. В. Абрамов, А. В. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 2. - URL: www.science-education.ru/102-5521.

References

1. Abramov, V. V. Development and justification of effective skidding technology in low-forest areas : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.21.01: protected 24.04.09 / V. V. Abramov; Voronezh. gos. lesotechn. acad. - Voronezh, 2009. - 366 p.
2. Afonichev, D.N. Justification of the length of the logging mustache / D.N. Afonichev // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Forest Bulletin. – 2011. – No. 3. – pp. 85-88.
3. Afonichev, D.N. Placement of a logging mustache on a cutting area / D.N. Afonichev // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Forest Bulletin. – 2009. – No. 3. – pp. 92-94.
4. Afonichev, D.N. Placement of loop turns on logging moustaches / D.N. Afonichev // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Forest Bulletin. – 2010. – No. 6. – pp. 93-96.
5. Bondarenko, A.V. Modeling of natural production conditions in the tasks of primary forest transport research in mountainous areas / A.V. Bondarenko, V. V. Abramov, F. V. Posharnikov // Modern problems of science and education. - 2012. - No. 2. - URL: www.science-education.ru/102-5518.
6. Grigoriev, I.V. Environmental technologies for the development of cutting areas in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation / I.V. Grigoriev, A.I. Zhukova, O.I. Grigorieva, A.V. Ivanov. – St. Petersburg: LTA, 2008. – 174 p.
7. Zaikin, A.N. Theory, methods and models of intensification of logging operations / A.N. Zaikin. – Bryansk: BGITA, 2009. – 212 p.
8. Research of technological options for performing processing operations of logging operations with chainsaws / I. N. Troyanov, V. V. Abramov, L. D. Bukhtoyarov, D. N. Afonichev, A. S. Chernykh, A. I. Maksimenkov // Forestry Journal. - 2019. - Vol. 9, No. 3 (35). - P. 114-130.
9. Posharnikov, F. V. Development of a mathematical model of wood skidding in conditions of incomplete logging / F. V. Posharnikov, V. V. Abramov, A.V. Bondarenko // Modern problems of science and education. - 2012. - No. 2. - URL: www.science-education.ru/102-5521