

У разі ступінчастої зміни обурення, наприклад опори навантаження, напруга на виході генератора миттєво змінюється на величину

$$\Delta U(t=0) = u(p \rightarrow \infty) = \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho,$$

а в новому сталому режимі роботи системи воно відрізнятиметься від початкового (заданого) значення на величину статичної помилки

$$\Delta U(t \rightarrow \infty) = u(p=0) = \frac{(\gamma_3 + \gamma_3 k) \cdot v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho}{1 + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}. \quad (7)$$

Характер перехідного процесу в системі регулювання виразу і величина статичної помилки залежать від співвідношення коефіцієнтів посилення і постійних часу, які, своєю чергою, залежать від режиму роботи і характеру навантаження генератора. Значення коефіцієнтів k_3 , k_{33} і постійних часу T_3 , T_{33} визначаються станом магнітних систем генератора і збудника.

У міру насичення магнітних ланцюгів машини (за збільшення струмів збудження) ці коефіцієнти і постійні часу зменшуються. Тому за великих значень струму навантаження (особливо реактивного навантаження) перехідні процеси наближаються до аперіодичного вигляду, а за малих струмів навантаження – мають коливальний характер (рис. 4, б).

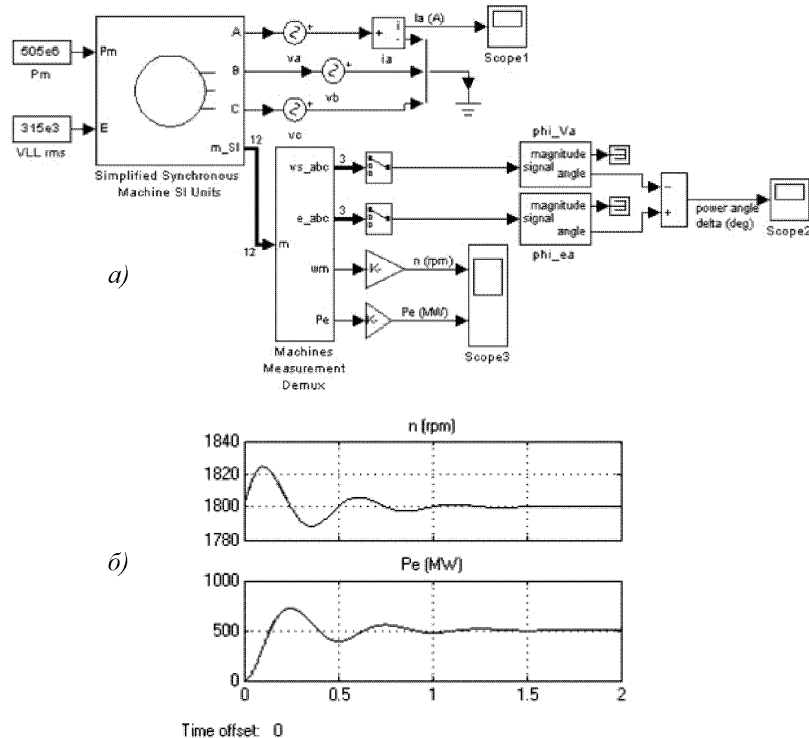


Рис. 4. Модель синхронного генератора у системі Matlab Simulink (а); перехідні процеси в генераторі за малих струмів, отримані на моделі (б)

Статична помилка регулювання напруги від однієї і тієї ж величини обурення із збільшенням попереднього навантаження генератора збільшується як внаслідок зменшення коефіцієнтів k_3 , k_{33} , так і у зв'язку із збільшенням коефіцієнтів посилення системи регулювання напруги за обуренням γ , γ_{33} , $\gamma_{п3}$, α_1 , α_2 .

Висновки. Потрібна точність стабілізації напруги генераторів змінного струму забезпечується відповідним вибором величини коефіцієнта посилення регулятора k_p . При цьому варто мати на увазі, що з підвищенням точності системи регулювання напруги запас її стійкості зменшиться. Тому в разі збільшення коефіцієнта посилення регулятора напруги потрібно передбачати і заходи щодо підвищення запасу стійкості системи регулювання.

Література

1. Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов морск. спец.] / А.А. Толстов. – Одесса : Изд-во ОНМА, 2006. – 150 с.
2. Баранов А.П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : учебник [для студ. ВУЗов] / А.П. Баранов, М.М. Раимов. – СПб. : Изд-во "Элмор", 1997. – 232 с.
3. Мелинский Г.А. Устойчивость энергосистем / Г.А. Мелинский, Г.В. Меркурьев. – Кн. 1. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.cpk-energo.ru/metod/u1/mml1.pdf>
4. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник [для студ. ВУЗов] / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб. : Изд-во "Питер", 2010. – 350 с.

Наговский Д.А., Дощенко Г.Г. Проблемы автоматического регулирования напряжения судовых синхронных генераторов

Исследованы проблемы управления судовыми генераторами в переходных режимах. Рассмотрены существующие системы генерации напряжения и регуляторы. Наглядно приведены судовые синхронный генератор как объект классической теории автоматического управления, его принципиальная схема и модель в пакете программ Simulink Matlab, а также структурная схема системы регулирования напряжения переменного тока. Показаны закономерности процесса управления напряжением синхронных генераторов и даны рекомендации относительно соотношения "точность регулирования/устойчивость".

Nagovskyy D.A., Doschenko G.G. Some Problems of Automatic Voltage Regulation of Ship Synchronous Generators

The problems of managing ship generators in transient conditions are studied. The existing voltage generation systems and regulators are examined. The ship synchronous generator as an object of classic automatic control theory, its basic scheme and model in Simulink Matlab software package, and block diagram of the AC voltage regulation are described. Some regularities of control voltage synchronous generators and recommendations concerning the relationship between "regulation accuracy/stability" are shown.

Keywords: voltage generation systems, ship synchronous generator, Simulink Matlab software package, regulator.

УДК 630.375.1 Доц. І.М. Рудько, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

ПОТРЕБА І ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КАНАТНИХ ДОРІГ ЛІСОПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Охарактеризовано переваги та недоліки використання підвісних канатних установок для виконання трельовально-транспортних операцій у процесі лісозаготівлі. Проаналізовано нормативну базу та досвід розроблення і виготовлення канатних транспортних засобів на вітчизняних галузевих підприємствах. Зазначено передумови та обґрун-

товано потребу впровадження лісозаготівельних технологій на базі канатних доріг лісопромислового призначення. Відзначено потребу розроблення галузевих нормативів, які регламентували б процеси проектування, виготовлення, випробування, монтажу та експлуатування підвісних канатних установок.

Ключові слова: лісозаготівельні технології, трелювання та транспортування деревини, канатні дороги лісопромислового призначення.

Стан проблеми. Підвісні канатні установки (ПКУ) лісопромислового призначення є одним з найефективніших засобів механізації трелювально-транспортних лісозаготівельних операцій і за показниками питомих енерговитрат та матеріаломісткістю значно випереджують інші аналогічні машини. Тому транспортування лісоматеріалів у підвішеному чи напівпідвішеному положеннях із застосуванням ПКУ широко використовують у багатьох промислово розвинених країнах світу.

В Україні нормативними документами свого часу було передбачено впровадження перспективних технологій розроблення лісосік та пріоритетне використання повітряно-трелювальних мобільних і стаціонарних ПКУ [1, 2]. Зокрема було заплановане поступове заміщення засобів трелювання у структурі технологічних процесів лісозаготівельної галузі зі збільшенням питомої частки транспортованої канатними системами деревини від 3 до 35 % [2]. Водночас було розроблено й структуру видатків для придбання нових машин: 50 % – за рахунок державних капіталовкладень, виділених, в основному, державним лісогосподарським підприємствам (однак тільки для лісогосподарської техніки); 35 % – за рахунок пільгових цільових кредитів акціонерним і приватним лісозаготівельним підприємствам; 15 % – за рахунок іноземних інвестицій у спільні та вітчизняні лісозаготівельні підприємства. Впровадження лісозаготівельних технологій на базі канатних установок було визначено пріоритетним також у державних цільових програмах [3, 4]. При цьому було закладено відповідне фінансування Державним агентством лісових ресурсів України та Міністерством аграрної політики та продовольства України, зокрема й за рахунок державних централізованих капітальних вкладень.

Виклад основного матеріалу. Засоби механізації трелювання і первинного транспортування деревини мають відповідати сучасному технічному рівню лісозаготівельного виробництва й бути максимально пристосованими до природного середовища, в якому їх експлуатують.

Під час виконання лісозаготівельних робіт в Україні тепер широко використовують гусеничні трелювальні трактори та колісні трактори середньої потужності. Застосування такої тракторної техніки на гірських схилах зумовлює пошкодження підросту (до 70-80 %), створює реальні передумови для ерозії ґрунту, чим завдає значної шкоди лісовому середовищу. У підсумку схили на 15-20 років втрачають захисний покрив, а зруйнована природна структура ґрунту сприяє істотному зниженню водорегулювальних і ґрунтозахисних властивостей лісових насаджень. Нове покоління лісу в таких умовах формується зазвичай менш продуктивним (на 1-2 бонітети нижчим). Навіть незначне руйнування засобами наземного транспорту тонкого шару скельного ґрунту в горах (материнської основи товщиною 10–20 см) призводить до його змивання зливовими дощами й паводками, утворення селевих потоків, забруднення водостоків і во-

дойм, знищення рослинності та живих організмів. Окрім того, значну шкоду ґрунтовому покриву завдають землерийно-транспортні машини на етапі прокладання мереж постійних і тимчасових лісових доріг (у деяких випадках виникає потреба у переміщенні 3–8 м³ ґрунту з розрахунку на 1 м³ транспортованої деревини) та безпосередньо тракторна техніка під час трелювання деревини (в окремих випадках робота гусеничних тракторів сприяє винесенню з 1 га площі лісосіки 150–500 м³ ґрунту, для природного відновлення якого необхідно не менш як 150–500 років).

Існують й істотні обмеження щодо застосування тракторної техніки на пологих, спадистих та стрімких схилах (за винятком спеціальних транспортних засобів, в експлуатаційній документації яких зазначено інші параметри). Гусеничні трелювальні трактори рекомендовано експлуатувати влітку в суху погоду на ділянках шляху з поздовжнім ухилом до 25°, а взимку та під час несприятливих погодних умов – до 15°. Колісні трактори рекомендовано експлуатувати на підйомах, які не перевищують 7°, та на спусках, які не перевищують 17° (влітку в суху погоду) чи 13° (взимку та під час несприятливих погодних умов). На стрімкіших схилах унаслідок можливої втрати стійкості транспортних засобів їх експлуатування є небезпечним [5]. Також встановлено, що зі збільшенням стрімкості схилу до 15° продуктивність трелювання лісоматеріалів тракторами знижується в 1,5-3 рази, порівняно з роботою на рівнинній місцевості [6].

Значно ефективнішим в утруднених умовах експлуатації, насамперед у гірських регіонах та на перевалованих чи заболочених ділянках місцевості, є застосування канатних доріг лісопромислового призначення. Це, передусім, можна пояснити тим, що опір руху вантажної каретки по несному канату установки значно менший, ніж у гусеничних чи колісних тракторів. Власна маса рухомих частин устаткування канатних установок (каретки і канатів) не перевищує 15–25% від маси транспортованої деревини, тоді ж як маса трактора сумірна з масою пачки лісоматеріалів (здебільшого її перевищує). Тому питома витрата пального під час роботи канатних систем є невеликою (0,5–0,7 кг/м³), значно меншою, ніж у трелювальних тракторів (1,1–2,5 кг/м³).

Відповідно до технологічних вимог, канатні установки дають змогу переміщати вантаж у режимах спускання та підймання, у горизонтальному й вертикальному напрямках; в окремих випадках їх застосовують в ролі перевантажувальних засобів на навантажувально-розвантажувальних пунктах. Як проміжні та анкерні опори для канатної оснастки використовують окремі дерева і пні; канатну оснастку зазвичай використовують повторно. На умови роботи підвісних систем практично не впливають атмосферні явища, зокрема снігові замети тощо (відповідно відпадає потреба виконувати взимку снігоочищувальні роботи). ПКУ успішно працюють на висоті понад 4500 м н. р. м., розробляючи лісосіки з ухилом місцевості 45° і більше. Сучасними канатними установками транспортують стовбури та сортименти, впроваджуючи їх в різні технологічні схеми лісозаготівлі.

У процесі експлуатування канатних установок виконують мінімальну вантажну роботу, оскільки деревину транспортують найбільш коротким з мож-

ливих шляхів (для тракторів здебільшого трасу збільшують у 3-4 рази). Вантажний напрямок для канатних доріг лісопромислового призначення, в основному, скерований на спускання деревини з нагірного боку місцевості (переважна більшість канатних установок у Центральній та Східній Європі працюють у режимі спускання деревини, хоча конструктивно можуть працювати й у режимі її підймання).

Під час підвісного, півпідвісного й навіть наземного способів трелювання деревини канатними установками ґрунт і підріст пошкоджують значно менше, ніж під час трелювання деревини гусеничними чи колісними тракторами. Змивання ґрунту після застосування канатних установок є у 5-7 разів менш інтенсивним, ніж після використання трелювальних тракторів. Робота трелювально-транспортних установок сприяє винесенню з 1 га площі лісосіки тільки 20–30 м³ ґрунту та збереженню до 60–70 % підросту.

Рухоме устаткування ПКУ не перебуває поруч з обслуговуючим персоналом, що є передумовою для створення належних умов праці робітників з позицій дотримання правил техніки безпеки.

Зважаючи на усі переваги канатного лісопромислового транспорту, досі не вирішено низку проблем, що істотно стримують його розвиток в Україні. Ефективність роботи канатних установок стрімко знижується зі зменшенням запасу заготовленої деревини (наприклад, під час поступової, вибіркової чи комбінованої систем рубок), незважаючи на те, що продуктивність саме транспортного процесу канатної установки (без формування, причеплення і відчеплення пачки деревини) є більшою, а собівартість – меншою, ніж під час трелювання деревини тракторами по гірському схилу. Основними причинами такої невідповідності є неповне використання вантажопідймальності транспортувальної машини (в експлуатаційних умовах рейсове навантаження не перевищує 60–80 % від номінальної вантажопідймальності), значна тривалість переходів робітників стрімкими схилами для формування пачок лісоматеріалів та виконання робітниками інших лісосічних операцій (організаційні вимушені перерви в роботі). Продуктивність підвісних транспортних установок в окремих випадках обмежується продуктивністю інших трелювальних засобів. Довгодистанційні установки (довжиною понад 500–600 м) досі не оснащені ефективними пристроями для підтягування лісоматеріалів до траси канатної дороги, хоча чимало таких пристроїв свого часу було розроблено та апробовано (згідно з даними досліджень компанії "Wyssen Seilbahnen AG" (Швейцарія) підтягування деревини канатною установкою до її траси знижує продуктивність транспортного процесу до 80 %).

Істотною, порівняно зі спорудженням тракторного волоку, залишається трудомісткість монтажу і демонтажу канатної установки (інколи до третини робочого циклу), причому частка механізованої праці під час виконання цих робіт загалом не перевищує 10-15 %.

Для вітчизняних підприємств актуальними проблемами є потреба кваліфікованого обслуговуючого персоналу та висока вартість канатних установок (50-500 тис. євро). Зважаючи на існуючу довговічність (термін амортизації 7-

10 років), амортизаційні відрахування істотно підвищують собівартість процесу трелювання деревини, а дотації для покриття збитків вітчизняні підприємства, які використовують канатні дороги лісопромислового призначення, наразі не отримують (економічну ефективність визначають за прямими витратами). Тому загалом канатні установки застосовують тільки у складних природних умовах, де використання інших транспортних засобів є економічно недоцільним або технічно (технологічно) неможливим.

З 1995 р. відповідно до "Національної програми виробництва технологічних комплексів машин і устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості" (затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України № 536 від 16.09.1992 р., у редакції від 08.02.1996 р.) було виконано низку дослідно-конструкторських робіт та випробовувань канатних установок. У рамках зазначеної програми Львівський проектно-конструкторський технологічний інститут "Лісдеревпром" розробив конструкторську документацію на типорозмірний ряд підвісних канатних транспортних засобів з довжиною шляху $l = 500 - 1200 \text{ м}$ та вантажопідймальністю $Q = 1,6 - 3,2 \text{ т}$. Відкрите акціонерне товариство "Ходорівполіграфмаш" виготовило тільки два дослідні зразки канатних установок [7]. Урешті-решт вітчизняні машинобудівні підприємства не отримали замовлень для серійного виготовлення трелювально-транспортних канатних установок з технологічним устаткуванням.

Ситуацію ускладнює також те, що в Україні досі не розроблено нормативів, які регламентували б процеси проектування, виготовлення, випробування, монтажу та експлуатації ПКУ. Окремі питання поверхово висвітлено в [5, 8], однак цього явно недостатньо. Методичні рекомендації та стандарти, розроблені у 80-х роках ХХ ст. (ГОСТ 17810-72 "Установки канатні підвісні для лісозаготівлі. Типи і основні параметри", ОСТ 13-81-80 "Установки канатні підвісні для лісозаготівлі. Типи і основні параметри", МУ 03.13.01-78 "Методичні вказівки. Установки канатні підвісні для лісозаготівлі. Проектування" тощо) не відображають сучасних вимог до ПКУ, не є чинними і не можуть повною мірою бути використаними інженерами та конструкторами. У процесі експлуатації ПКУ працюють як вантажні канатні дороги лісопромислового призначення й тому потрібно розробити правила проектування їх трас (аналогічно як для автомобільних доріг загального користування згідно з ДСТУ Б А.2.4-29:2008. Автомобільні дороги. Земляне полотно і дорожній одяг. Робочі креслення). Розглядувану проблематику доцільно було б вирішувати шляхом поєднання зусиль замовника (інвестора) та потенціалу науково-виробничого підприємства зі залученням (за потреби) як партнера та консультанта вищого навчального закладу.

Висновки та пропозиції. Велика вартість освоєння гірських лісів призводить до того, що в багатьох країнах світу їх вважають умовно недоступними для експлуатації (близько 30 % лісів у США, 25 % – у Норвегії тощо). У нашій державі гірські райони також є недостатньо освоєними, мережа автомобільних доріг і залізниць розвинена слабо (щільність лісових доріг у Карпатському регіоні у 3-7 разів менша, ніж у країнах Західної і Центральної Європи). Тому застосування канатних доріг лісопромислового призначення істотно підвищило б ефективність виконання лісозаготівельних робіт (у країнах, де добре розвине-

ний канатний лісопромисловий транспорт, наприклад в Австрії та Швейцарії, експлуатацією не охоплено тільки 5-10 % гірських лісів).

В Україні за річного приросту запасів деревини близько 35 млн м³ заготовляють від усіх видів рубок у середньому 13–16 млн м³ (приблизно 40–45 %), зокрема й через експлуатаційну недоступність окремих лісових масивів (гірські, заболочені тощо). Застосування ПКУ дасть змогу збільшити частку експлуатаційних лісових масивів до 90-95 % та заготовляти понад 60-80 % річного приросту деревини (зі збереженням водоохоронних, водорегулювальних, ґрунтозахисних та інших властивостей лісу). Окрім того, застосування ПКУ дасть змогу заготовляти щороку більше деревини з її мінімальними втратами, завдаючи при цьому значно меншої шкоди докільню (на 1 га площі Швейцарських Альп заготовляють у 2,5-3 рази більше деревини, ніж на 1 га площі Українських Карпат, але внаслідок застосування сучасних технологій заповідня природі шкода є на порядок меншою).

Сучасні тенденції розвитку канатного лісозаготівельного транспорту, питома вага якого в країнах Західної і Центральної Європи, порівняно з 80-ми роками ХХ ст., зросла від 2 до 10 %, свідчать про беззаперечну перспективність використання підвісних систем. Частка деревини, заготовленої за допомогою ПКУ в Україні, становить 1-3 % (фактично менше). Тому подальші розроблення та впровадження канатних установок мають важливе значення для підвищення ефективності застосування лісозаготівельної техніки у вітчизняних природно-виробничих умовах. Зважаючи на обсяги лісозаготівлі та експлуатаційну продуктивність, в Україні щороку має працювати не менше як 50-100 канатних доріг лісопромислового призначення. Проте широке високопродуктивне використання сучасної техніки та технології буде можливим тільки після створення належної лісової інфраструктури, передусім добре розвиненої мережі лісових автотранспортних доріг.

Література

1. Закон України "Про мораторій на проведення суцільних рубок на гірських схилах в ялицево-букових лісах Карпатського регіону" / Прийнятий Верховною Радою України 10.02.2000 р., № 1436-III // Відомості Верховної Ради України. – [В редакції від 18-11-2012]. – 2000. – № 13 від 31.03.2000 р. – С. 99.
2. Програма будівництва лісових доріг і впровадження природозберігаючих технологій лісозаготівель у гірських умовах Закарпаття / Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 23.04.1999 р., № 670 // Офіційний вісник України. – [Втратила чинність 21-08-2003]. – 1999. – № 17 від 14.05.1999 р. – С. 54.
3. Державна програма "Ліси України" на 2002...2015 роки / Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 29.04.2002 р., № 581 // Офіційний вісник України. – [Втратила чинність 28-09-2009]. – 2002. – № 18 від 17.05.2002 р. – С. 113.
4. Державна цільова програма "Ліси України" на 2010...2015 роки / Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16.09.2009 р., № 977 // Офіційний вісник України. – [В редакції від 02-11-2012]. – 2009. – № 72 від 28.09.2009 р. – С. 5.
5. Данилов В.В. Правила охорони праці для працівників лісового господарства та лісової промисловості: НПАОП 02.0-1.04-05 / В.В. Данилов, С.П. Ірклієнко, М.С. Полончук та ін. // Затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 13.07.2005 р., № 119. – [В редакції від 27-11-2007]. – К. : Вид-во "Відлуння", 2005. – 458 с. – (Нормативно-правовий акт з питань охорони праці).
6. Ливанов А.П. Експлуатація горних лесов / А.П. Ливанов. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1983. – 224 с.

7. Шибунько С. Нові технології на схилах Карпат / Стефанія Шибунько. – Львів : Вид-во Всеукраїнської галузевої газети "Деревообробник". – 05.11.2007 р., № 20 (182). – С. 2.

8. Рекомендації із застосування мобільних канатних лісотранспортних установок на гірській лісозаготівлі / Український наук.-досл. ін-т гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака // Затвержені Науково-технічною радою Держкомлісгоспу України, прот. № 2 від 30.10.2006 р. – Івано-Франківськ : Вид-во УкрНДІґірліс, 2006. – 36 с.

Рудько И.М. Необходимость и предпосылки внедрения лесозаготовительных технологий с использованием канатных дорог лесопромышленного назначения

Охарактеризованы преимущества и недостатки использования подвесных канатных установок для выполнения трелевочно-транспортных операций в процессе лесозаготовок. Проанализирована нормативная база, опыт разработки и изготовления канатных транспортных средств на отечественных отраслевых предприятиях. Обозначены предпосылки и обоснована необходимость внедрения лесозаготовительных технологий на базе канатных дорог лесопромышленного назначения. Отмечена потребность разработки отраслевых нормативов, которые бы регламентировали процессы проектирования, изготовления, испытания, монтажа и эксплуатации подвесных канатных установок.

Ключевые слова: лесозаготовительные технологии, трелёвка и транспортировка древесины, канатные дороги лесопромышленного назначения.

Rud'ko I.M. The Need and Prerequisites of Introduction of Logging Technologies with use of Cableways of Timber Industry Purposes

Some advantages and shortcomings of use of forest cable systems for the performance of skidding and transportation of wood in the course of logging are characterized. The regulatory base, experience of development and production of cable vehicles at the domestic branch enterprises is analyzed. Prerequisites are noted and the need of introduction of logging technologies on the basis of cableways of timber industry purposes is proved. The requirement of development of industry standards which would regulate processes of design, production, test, installation and operation of forest cable systems is stated.

Keywords: logging technologies, skidding and transportation of wood, cableways of timber industry purposes.

УДК 656.1

Доц. О.В. Придатко, канд. техн. наук;
доц. І.В. Паснак, канд. техн. наук; курсант М.В. Гречка –
Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНОСТІ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ ЛЬВОВА

Обґрунтовані основні вихідні параметри для прогнозування аварійності на регульованих перехрестях та встановлено величину їх граничних значень. Отримано математичну модель прогнозування показника аварійності перехресть за прикладом Львова, яка враховує параметри інтенсивності та пропускнуої здатності. Регресійне співвідношення представлено у вигляді логарифмічної та лінійної функції відгуку з метою перевірки достовірності прогнозованих результатів. Доведено висунуту гіпотезу щодо можливості застосування методів регресійного аналізу з метою прогнозування аварійності на регульованих перехрестях різних категорій.

Ключові слова: прогнозування аварійності, регресійний аналіз, регульоване перехрестя.

Постановка проблеми. Як відомо, людина, її життя, здоров'я і безпека визнається найвищою соціальною цінністю держави. Але в умовах стрімкого