

Надежность работы высокопроизводительных поточных линий

Д.А. Ильюшенко^{1a}, Б.М. Локштанов^{1b}, В.В. Орлов^{1c}, Е.Г. Копосова^{1d},
В.А. Иванов^{2e}, М.В. Степанищева^{3f}

¹ Санкт–Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт–Петербург, Россия

² Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт-Петербург, Россия

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a dilium@yandex.ru, ^b blokshtanov@mail.ru, ^c artictvetal1987@gmail.com, ^d koposova2000@mail.ru,

^e ivanovva55@mail.ru, ^f marina01031977@inbox.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-7104-8659>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Статья поступила 13.11.2022, принята 18.11.2022

Проектирование поточных линий с высокой производительностью, особенно в процессах непрерывного действия, основано на надежности работы этих линий и каждого элемента, входящего в состав линии. Чем выше производительность основного производства, тем больше задач требуется решать, например, в системе подготовки и подачи древесного сырья в основное производство при варке целлюлозы, особенно непрерывным способом. В статье рассмотрены вопросы надежности различных поточных линий для производства щепы для варки целлюлозы непрерывным способом в аппаратах типа «Камюр» мощностью до 350 тыс. т в год. Приведены формулы для расчета безотказной работы поточной линии и отдельного оборудования, входящего в состав линии. Так как на практике пользуются показателями вероятности отказа и вероятности безотказной работы, в статье приведены формулы для расчета этих показателей. Расчеты показали, что время безотказной работы элемента системы подготовки сырья к переработке распределяется по экспоненциальному закону, по которому распределяется и поток внезапных (случайных) отказов. Рассмотрено несколько вариантов поточных линий на базе различного оборудования и технологии производства щепы в объеме 1 750 000 пл. м³ в год. Первый вариант основан на применении окорочных барабанов КБС-420, рубительных машин МРН-100 и системы сортирования с плоскими ситами. По расчету, потребуются четыре поточные линии. Вторым вариантом включает два окорочных барабана КБС-530, рубительные машины МРН-200 и машины сортировки щепы СЩ-1000. По расчету, потребуются две поточные линии. Третий вариант включает окорочный барабан КБС-635, рубительную машину МРН-450 и две сортировки щепы СЩ-1000. В этом варианте потребуются одна поточная линия, но линия имеет кучевой склад щепы, создающий стабильное, надежное обеспечение щепой основного (целлюлозного) производства. В данной статье сделаны выводы и предложения по созданию систем подготовки древесного сырья к переработке на целлюлозу с минимальным количеством высокопроизводительного оборудования. Описанная система включает участок по складированию щепы в большие кучи, обеспечивающие надежность системы по подаче щепы на варку целлюлозы.

Ключевые слова: поточная линия; надежность; безотказность работы; производство щепы; целлюлозное производство.

Reliability of high-performance production lines

D.A. Ilyushenko^{1a}, B.M. Lokshtanov^{2b}, V.V. Orlov^{2c}, E.G. Koposova^{2d},
V.A. Ivanov^{2e}, M.V. Stepanishcheva^{3f}

¹ St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

² Military Academy of Communication under name of S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^a dilium@yandex.ru, ^b blokshtanov@mail.ru, ^c artictvetal1987@gmail.com, ^d koposova2000@mail.ru,

^e ivanovva55@mail.ru, ^f marina01031977@inbox.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-7104-8659>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Received 13.11.2022, accepted 18.11.2022

The design of production lines with high productivity, especially in continuous processes, is based on the reliability of the operation of these lines and each element that makes up the line. The higher the productivity of the main production, the more tasks need to be solved, for example, in the system of preparation and supply of wood raw materials to the main production - pulping, especially in a continuous way. The article deals with the issues of reliability of various production lines for the production of chips for pulping in a continuous way in Kamyur-type apparatuses with a capacity of up to 350 thousand tons per year. Formulas for calculating the trouble-free operation of the production line and individual equipment included in the line are given. Since in practice they use the indicators of the probability of failure and the probability of failure-free operation, the article provides formulas for calculating these indicators. Calculations have shown that the time of failure-free operation of an element of the system for preparing raw materials for processing is distributed according to an exponential law, according to which the flow of sudden (random) failures is also distributed. Several vari-

ants of production lines based on various equipment and technology for the production of wood chips in the amount of 1750,000 square meters per year are considered. The first option is based on the use of KBS-420 debarking drums, MPN-100 chippers and a sorting system with flat screens. According to the calculation, four production lines are required. The second option includes two debarking drums KBS-530, chippers MPN-200 and chip sorters SSh-1000. According to the calculation, two production lines are required. The third option includes a KBS-635 debarking drum, an MPN-450 chipper and two SSh-1000 chip sorters. In this option, one production line will be required, but the line has a stacked chip yard providing a stable, reliable supply of chips to the main production (pulp mill). This article draws conclusions and proposals for the creation of systems for the preparation of wood raw materials for processing into pulp with a minimum amount of high-performance equipment, and the system includes a section for storing chips in large piles, ensuring the reliability of the system for supplying chips for pulping.

Keywords: production line; reliability; non-failure operation; chip production; pulp production.

Введение. Основной задачей при проектировании поточных линий с высокой производительностью является обеспечение системы выработки продукции в нужном количестве, с требуемым качеством. Такие системы необходимы для обеспечения продукцией при непрерывном процессе ее потребления в таких отраслях промышленности, как энергетические, связанные с теплофизическими процессами при сжигании различных видов топлива (угля, торфа, щепы, опилок и т. п.), при производстве целлюлозы, особенно при непрерывном способе варки, в процессе крекинга нефти и т. д. [1].

Непрерывные основные процессы требуют большого количества подготовленного сырья или продуктов с показателями качества, не нарушающими основной процесс. Чем выше производительность основного производства, тем больше проблем требуется решать в системе подготовки и подачи сырья в основное производство:

1. Обеспечение непрерывности подачи подготовленного сырья;
2. Создание объема запаса подготовленного сырья;
3. Обеспечение надежности работы линии обработки и подачи сырья.

Непрерывность подачи подготовленного сырья обеспечивается, во-первых, надежностью работы всей системы подготовки сырья и наличием определенного запаса сырья, обеспечивающего работу основного производства, например, в течение определенного времени (не менее смены — 8 ч), в течение которого систему подготовки сырья могут привести в состояние, обеспечивающее подготовку сырья в необходимых объемах и нужного качества.

Основной проблемой при создании высокопроизводительных поточных линий является обеспечение надежной работы элементов линии и линии (системы) в целом.

Надежность — это вероятностная характеристика, основанная на статистической обработке экспериментальных данных, полученных при работе оборудования и линии в целом. Вероятностные методы определения показателей надежности достаточно хорошо позволяют оценивать надежность машин, тем более что машины становятся все сложнее, могут выполнять не одну, а несколько функций, и этот метод оценки надежности очень эффективен [2; 15]. Машиностроители и технологи предпринимают необходимые меры по повышению надежности работы оборудования, так как при большой производительности линии любой незапланированный останов линии из-за сбоя работы даже одного из оборудования, входящего в линию, приводит к большим экономическим потерям [3].

Надежность технического объекта — это свойство объекта сохранять во времени значения всех его параметров, позволяющих выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонтов. ГОСТ Р 53480-2009 [4] определяет надежность как свойство готовности и связанных с этим безотказности, ремонтпригодности и технического обслуживания объекта. Здесь готовность — это способность объекта выполнять требуемую функцию в определенном времени, причем внешние ресурсы, кроме ресурсов технического обслуживания, не влияют на свойства готовности [16].

В качестве конкретного примера можно рассмотреть надежность работы поточного производства технологической щепы из круглых лесоматериалов в целлюлозно-бумажном производстве. В данном случае надежность — это способность в течение года производить технологическую щепу с заданными параметрами из круглых лесоматериалов (балансов) в объеме, обеспечивающем процесс производства целлюлозы, в том числе и с непрерывным способом варки, в требуемом количестве.

Развитие целлюлозно-бумажной промышленности показало, что эксплуатация небольших предприятий мощностью до 100 тыс. т целлюлозы в год, для которых надо производить технологическую щепу в объеме до 500 тыс. пл. м³ в год, становится экономически невыгодно, так как приходится решать вопросы доставки древесного сырья, утилизации коры и древесных отходов, очистки сточных вод и газовых выбросов. С этими вопросами комплексно справляются мощные предприятия производительностью по целлюлозе до 1 млн т в год (по щепе до 5 млн пл. м³/год). Для таких предприятий вопросы надежности работы системы подготовки древесного сырья (производства технологической щепы) встают особенно остро.

Методы исследования. Вероятность безотказной работы поточной линии подготовки древесины для производства целлюлозы P находится в пределах $0 \leq P(t) \leq 1$.

По статистическим данным об отказах оборудования, вероятность его безотказной работы P^* определяется по выражению [4; 5]:

$$P^*(t) = [N_0 - n(t)] / N_0,$$

где $P^*(t)$ — вероятность безотказной работы оборудования (по статистическим данным); N_0 — число машин в системе в начале наблюдения; $n(t)$ — число отказавших в работе машин за время наблюдения.

На практике пользуются характеристиками, определяющими вероятность отказа и вероятность безотказной работы $Q(t) = 1 - P(t)$.

Статистическую оценку вероятности отказа Q^* поточной линии находим по выражению [6]:

$$Q^*(t) = n(t) / N_0.$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ элемента поточной линии производства щепы графически изображается интегральной кривой $f(t)$, ограничивающей площадь вероятности его отказа $Q(t)$ за период времени от 0 до t :

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (1)$$

$$P(t) = \int_0^\infty f(t) dt.$$

Время безотказной работы элемента системы для подготовки сырья к переработке распределяется по экспоненциальному закону, по которому распределяется и поток внезапных (случайных) отказов [7]. При этом характеристика потока случайных отказов элементов системы $\lambda(t)$ определяется по выражению:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}$$

или
$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} [\ln P(t)]. \quad (2)$$

Интегрируя выражение (2), получим:

$$P(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (3)$$

Сделав допущение, что, независимо от длительности эксплуатации элементов системы, его λ -характеристика является величиной постоянной [8], выражение (3) можно записать в виде:

$$P(t) = \exp(-\lambda t),$$

отсюда получим:

$$\lambda = -\ln[P(t)]/t.$$

Тогда среднее время безотказной работы элемента системы (наработка на отказ) $T_{н.о.}$ определяется по формуле:

$$T_{н.о.} = 1/\lambda.$$

Технологические процессы подготовки древесного сырья к переработке строятся по принципу непрерывного потока (системы) с несколькими последовательными транспортными и технологическими операциями. Производительная работа каждого последующего элемента потока (системы) зависит от безотказной работы предыдущего. Кроме того, при выходе из строя одного из элементов поточная линия подготовки сырья или останавливается, или резко снижается ее производительность.

На основании закона надежности системы [9; 10], когда в нее входят различные элементы со своей надежностью, тогда безотказность работы всей системы подготовки древесного сырья (производства технологической щепы) P_c определяется зависимостью как

произведение вероятностей безотказной работы элементов системы:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4)$$

где $P_1(t), P_2(t) \dots P_n(t)$ — вероятность безотказной работы технологических и транспортных элементов системы, входящих в поточную линию подготовки древесины.

Как видно из формулы (4), чем меньше элементов в системе и выше их надежность работы, тем выше вероятность безотказной работы всей системы [11–13].

В последнее время существующие предприятия целлюлозно-бумажной промышленности проводят реконструкцию, направленную на производство целлюлозы в котлах с непрерывным способом варки щепы вместо котлов периодического действия, причем устанавливают котлы производительностью до 1 000 т в сутки.

Данные котлы работают 350 дней в году и потребляют огромное количество щепы. Количество щепы для варки рассчитывают по формуле:

$$Q_{год} = Q_{сутки} \cdot q \cdot D = 1000 \cdot 5 \cdot 350 = 1750000 \text{ пл. м}^3,$$

где $Q_{год}$ — годовой объем щепы, требуемый для производства целлюлозы сульфатным способом в варочных котлах непрерывного действия, пл. м³/год; $Q_{сутки}$ — суточное производство целлюлозы в котлах непрерывного действия, принято 1 000 т/сутки (влажностью 12 %); q — удельный расход щепы на производство 1 т целлюлозы, принимаем 5 пл. м³/т; D — количество календарных дней непрерывной варки щепы в котлах — 350 дней.

Оставшиеся 15 дней в году проводят на предприятиях профилактический осмотр, ремонт, поверку оборудования и приборов не только данного котла, но и всех элементов системы подготовки древесного сырья (производства технологической щепы). Во время такой остановки проводят профилактику всех цехов и участков целлюлозно-бумажного предприятия.

Удельный расход древесины (щепы) для производства одной тонны целлюлозы зависит от большого количества факторов, связанных как со щепой (порода, плотность, влажность), так с режимом варки (давление, температура, концентрация щелоков, скорость питатель и т. п.).

Удельный расход древесины может иметь значения в пределах 3,8–5,7 пл. м³/т. Показатель 5 пл. м³/т принят для удобства расчетов и часто используется для предварительных расчетов как у проектировщиков, так и работников лесной отрасли [14].

Расчетная величина необходимого количества щепы для производства целлюлозы дает возможность компоновать различные поточные линии и цеха для обеспечения щепой варочного производства. В данной работе рассмотрено несколько вариантов поточных линий на базе различного оборудования и технологии производства щепы. Во всех вариантах принята технология сухой окорки древесины в барабанах, так как применение воды при окорке требует наличия целого ряда оборудования, связанного с отжимом коры и очисткой воды, а,

как показано выше, это снижает надежность работы всей системы подготовки сырья.

Первый вариант компоновки древесно-подготовительного производства основан на применении барабанов КБС-420, рубительной машины производительностью 100 пл. м³/ч, системы сортирования щепы и бункеров щепы для обеспечения запаса щепы для работы варочного цеха в течение суток (в случае отказа в работе элемента поточной линии подготовки сырья).

Расчетное количество вырабатываемой щепы в сутки составляет 5 000 пл. м³, что обеспечивает четыре потока (рис. а). Незапланированный выход из работы одного из потоков на сутки снижает производительность цеха на 25 %.

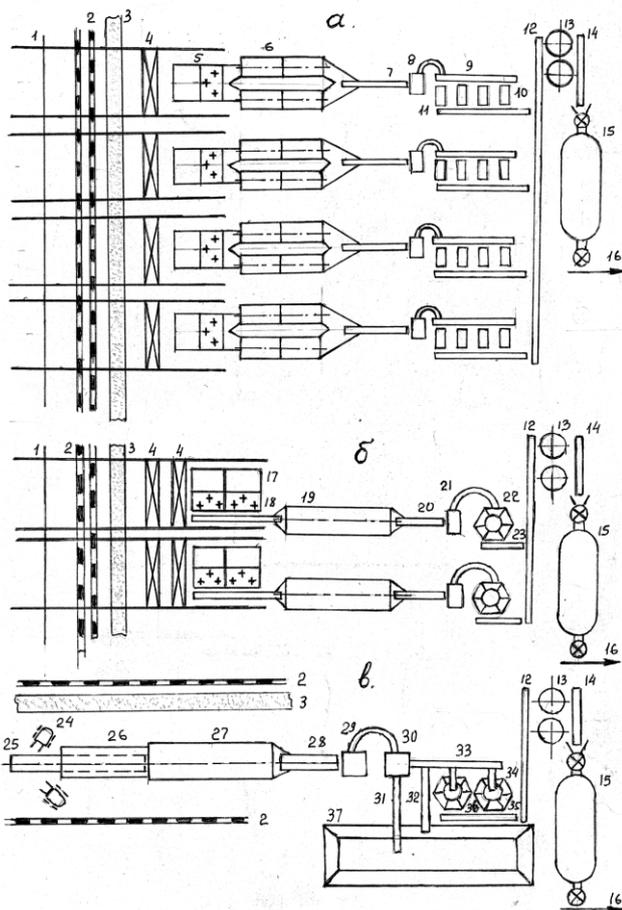


Рис. Технологические схемы производства технологической щепы в объеме 1 750 000 м³ в год для выработки 350 000 т целлюлозы в аппаратах непрерывного действия типа «Камюр»: а — технологическая схема производства щепы на базе барабанов КБС-420; б — технологическая схема на базе барабанов КБС-530; в — технологическая схема на базе одного барабана КБС-635. 1 — причал для разгрузки барж и плотов с балансами; 2 — железнодорожные пути для поставки балансов; 3 — автомобильная дорога для лесовозов; 4 — мостовые краны; 5 — стол для приема и роспуска пачек балансов со слешером для раскряжевки; 6 — корообдирочный барабан КБС-420; 7 — транспортер для окоренных балансов; 8 — рубительная машина МРН-100; 9 — транспортер несортированной щепы; 10 — сортировка щепы СЩ-120; 11 — транспортер сортированной

щепы; 12 — транспортер подачи щепы в варочный цех; 13 — бункер для щепы; 14 — транспортер для подачи щепы в варочный аппарат; 15 — варочный аппарат типа «Камюр»; 16 — целлюлоза; 17 — сдвоенный стол-слешер; 18 — транспортер для подачи раскряжеванных балансов; 19 — корообдирочный барабан КБС-530; 20 — транспортер для окоренных балансов; 21 — рубительная машина МРН-200; 22 — сортировки щепы СЩ-800; 23 — транспортер сортированной щепы; 24 — погрузчик для пачек балансов; 25 — цепной широкий транспортер для пачек балансов; 26 — камера для тепловой обработки балансов; 27 — корообдирочный барабан КБС-635; 28 — транспортер для подачи окоренных длинномерных балансов в рубительную машину; 29 — рубительная машина МРН-450; 30 — бункер-распределитель несортированной щепы; 31 — транспортер подачи щепы в кучи; 32 — транспортер подачи щепы из кучи; 33 — транспортер подачи щепы на сортировочную станцию; 34 — транспортер подачи щепы на сортировку; 35 — сортировка щепы СЩ-1000; 36 — транспортер для сортированной щепы

Работа такого цеха предусмотрена в три смены. Запланированы плановые остановки каждого потока на одну смену для осмотра, ремонта и наладки.

Второй вариант основан на применении барабанов для окорки КБС-530 производительностью 200 пл. м³/ч и соответствующей рубительной машины, сортировок щепы СЩ-1000, но количество бункеров для запаса щепы здесь увеличено (рис. б).

Третий вариант основан на применении барабана типа КБС-635 производительностью 450 пл. м³/ч соответствующей рубительной машины. Отметим, что применение такого барабана позволяет окоривать балансы длиной до 5 м, и слешер в этой схеме не предусматривается (рис. в).

Такой барабан имеет внушительные размеры по высоте, и подача бревен в барабан производится по наклонному цепному транспортеру. При этом транспортер имеет камеру для подготовки бревен к окорке, это повышает качество обработки.

Кроме того, рубительная машина имеет патрон размером до 900 мм, что позволяет рубить сразу несколько бревен диаметром до 30 см.

Привод для такой машины должен иметь мощность до 1 100 кВт. Такие приводы делают по специальному заказу, а для охлаждения привода применяют воду. Но есть разработки, в которых вместо указанного выше применяют четыре обычных электрических двигателя мощностью по 300 кВт, что значительно упрощает эксплуатацию машины и повышает надежность ее работы.

Нарубленную щепу подают или к варочному цеху, точнее, к узлу сортирования щепы, который расположен непосредственно у варочного цеха, или в кучу несортированной щепы.

Система по третьему варианту позволяет работать основному оборудованию системы по подготовке древесного сырья в две смены и в течение года 280 дней. Это создает возможность выделять необходимое время на осмотр линии (системы), отладку или ремонт оборудования, не нарушая подачу древесного сырья (щепы) на варку, обеспечивая высокую надежность и безотказность работы системы в целом.

Третья технология и схемы цеха подготовки древесины является очень перспективной и уже используется в Сыктывкаре и Братске на целлюлозно-бумажных предприятиях.

Выводы. Надежность работы высокопроизводительных поточных линий зависит от надежности работы каждого элемента, входящего в линию, и рассчитывается как произведение их надежности. Чем меньше элементов в системе и выше надежность работы каждого эле-

мента, тем выше надежность работы всего потока и системы в целом.

Приведенные варианты поточных линий и цехов для производства технологической щепы из круглых лесоматериалов, представленные на рисунке, наглядно демонстрируют преимущество варианта *в*, так как по данному варианту применяется минимальное количество элементов, входящих в поточную линию (систему) для производства 1 750 000 пл. м³ щепы в год для выработки 350 000 т целлюлозы в год в аппаратах типа «Камюр».

Литература

1. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету машин на стадии проектирования. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
2. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
3. Гриневич Г.П., Каменская Е.А., Алферов А.К. Надежность строительных машин. М.: Стройиздат, 1983. 296 с.
4. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. Введ. 01.01.2011. М.: Стандартиформ, 2010. 27 с.
5. Каменев А.Ф. Основы надежности бумагоделательных машин. М.: Лесная пром-сть, 1978. 144 с.
6. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
7. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 220 с.
8. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. 2-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
9. Милкин В.С. Надежность технических систем и технический риск. Ростов-н/Д.: Феникс, 2010. 429 с.
10. ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Основные понятия. Термины определения. Введ. 01.01.2011. М.: Стандартиформ, 2011. 32 с.
11. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. Введ. 01.09.2003. М.: Изд-во стандартов, 2002. 28 с.
12. ГОСТ Р 51901.6-2005. Менеджмент риска. Программа повышения надежности. Введ. 30.09.2005. М.: Стандартиформ, 2006. 31 с.
13. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. Введ. 01.01.2003. М.: Госстандарт России, 2002. 8 с.
14. Вьюков Б.Е., Локштанов Б.М., Трифилова Т.Ф. Механизированные системы подготовки древесины к переработке // Автоматизация, механизация и оборудование целлюлозно-бумажного производства: сб. тр. ВНИИБ. Л., 1978. С. 112-118.
15. Сиротов А.В. Синтез технического обслуживания и ремонта оборудования поточных линий лесопильно-деревообрабатывающих производств: моногр. М.: Изд-во МГУЛ, 2005. 196 с.
16. Khandelwal D.N., Sharma Jayder, Rey L.M. Optimal Periodic Maintenance Policy for Macleines Subject to Deterioration

and Random Breakdown «IEEE Transactions on Reliability», 1979. R-28. № 4. P. 328-330.

References

1. Hazov B.F., Didusev B.A. Handbook on the calculation of machines at the design stage. M.: Mashinostroenie, 1986. 224 p.
2. Pronikov A.S. Reliability of machines. M.: Mashinostroenie, 1978. 592 p.
3. Grinevich G.P., Kamenskaya E.A., Alferov A.K. Reliability of construction machines. M.: Strojizdat, 1983. 296 p.
4. GOST P 53480-2009. Reliability in technology. Terms and definitions. Vved. 01.01.2011. M.: Standartinform, 2010. 27 p.
5. Kamenev A.F. Fundamentals of reliability of paper machines. M.: Lesnaya prom-st', 1978. 144 p.
6. Gnedenko B.V., Belyaev YU.K., Solov'ev. A.D. Mathematical methods of reliability theory. M.: Nauka, 1965. 524 p.
7. Bolotin V.V. Resource of machines and structures. M.: Mashinostroenie, 1990. 220 p.
8. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of reliability theory. 2-e izd. pererab. i dop. SPb.: BHV-Peterburg, 2006. 704 p.
9. Milkin V.S. Reliability of technical systems and technical risk. Rostov-n/D.: Feniks, 2010. 429 p.
10. GOST 27.002-2009. Reliability in technology. Basic concepts. Terms of definition. Vved. 01.01.2011. M.: Standartinform, 2011. 32 p.
11. GOST R 51901-2002. Reliability management. Risk analysis of technological systems. Vved. 01.09.2003. M.: Izd-vo standartov, 2002. 28 p.
12. GOST R 51901.6-2005. Risk management. Reliability Improvement Program. Vved. 30.09.2005. M.: Standartinform, 2006. 31 p.
13. GOST R 51897-2002. Risk management. Terms and definitions. Vved. 01.01.2003. M.: Gosstandart Rossii, 2002. 8 p.
14. V'yukov B.E., Lokshtanov B.M., Trifilova T.F. Mechanized systems for preparing wood for processing // Avtomatizaciya, mekhanizaciya i oborudovanie cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: sb. tr. VNIIB. L., 1978. P. 112-118.
15. Sirotoy A.V. Synthesis of maintenance and repair of equipment of production lines of sawmilling and woodworking industries: monogr. M.: Izd-vo MGUL, 2005. 196 p.
16. Khandelwal D.N., Sharma Jayder, Rey L.M. Optimal Periodic Maintenance Policy for Macleines Subject to Deterioration and Random Breakdown «IEEE Transactions on Reliability», 1979. R-28. № 4. P. 328-330.