

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА АВИАСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

© 2024 С.А. Васин<sup>1</sup>, С.Н. Шевченко<sup>2</sup>, М.Н. Фетисов<sup>3</sup>, В.Ю. Анцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тулский государственный университет, г. Тула, Россия

<sup>2</sup>Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Россия

<sup>3</sup>НЦВ Миль и Камов, Томилино, Россия

Статья поступила в редакцию 07.05.2024

В статье представлена методика оценки качества процесса производственного планирования, используемая в действующей на авиастроительном предприятии системе мотивации команд управления проектами при исполнении и контроле исполнения производственного плана и подведении итогов. Оценку качества процесса производственного планирования предложено осуществлять на основе использования коэффициента качества планирования, включающего два критерия: критерий полноты планирования выполняющихся проектов и критерий выполнения плана за отчетный месяц. Представлены зависимости для расчета коэффициента качества планирования и составляющих его критериев. Причем для расчета компонентов критерия полноты планирования выполняющихся проектов предложено использование системы нечеткого вывода. При этом введены две входные лингвистические переменные: «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» и «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту», а также две выходные лингвистические переменные: «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта», «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту». Для всех лингвистических переменных установлены области определения (универсумы), базовые терм-множества и составляющие их нечеткие переменные, а также соответствующие нечеткие множества с функциями принадлежности, описывающие возможные значения, которые могут принимать данные нечеткие переменные. Представлена интерпретация алгоритма Мамдани для рассматриваемого случая использования системы нечеткого вывода. Приведен практический пример работы разработанной системы нечеткого вывода, реализованной в среде Matlab R2016b с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox 2.2.24. Результатом внедрения разработанной методики оценки качества процесса производственного планирования в производственную практику АО «НЦВ Миль и Камов» стал рост количества проектов, выполненных в ранее запланированные сроки с 45 % в 2018 г. до 75 % в 2023 г. Это привело в конечном итоге к увеличению в холдинге «Вертолеты России» выхода качественной научной и технической документации и, соответственно, выпускаемой продукции в установленные планами сроки.

*Ключевые слова:* производственное планирование, процесс, оценка качества процесса, система нечеткого вывода, лингвистическая переменная.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-3-23-33

EDN: TWRZLS

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из драйверов роста российского производства, как это отмечено в ежегодном отчете Правительства России в Государственной Думе Российской Федерации [1], является авиастроительная отрасль, объем промышленного

производства которой за 2023 г. увеличился на 19,4 %. Одной из задач авиастроительной отрасли в 2024 году является увеличение почти на 30 % выпуска гражданских вертолетов, которые должны быть самыми надежными и современными машинами.

На решение данной задачи направлена производственная деятельность холдинга «Вертолеты России», в составе которого функционирует АО «НЦВ Миль и Камов» (НЦВ) – конструкторское бюро с опытным заводом, использующее проектный метод управления [2]. В организации действуют проектные команды, которые формируют проектные графики.

При формировании проектных графиков НЦВ столкнулось с проблемой распределения ресурсов, прежде всего – трудовых. Это связано, в основном, с тем, что на предприятии ве-

*Васин Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры «Технология машиностроения». E-mail: vasin\_sa53@mail.ru*

*Шевченко Сергей Николаевич, академик РАН, директор. E-mail: samniish@mail.ru*

*Фетисов Михаил Николаевич, заместитель исполнительного директора. E-mail: mkhl.ftsv@gmail.com*

*Анцев Виталий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортно-технологические машины и процессы».*

*E-mail: anzev@yandex.ru*

дется одновременно огромное количество различных тем, и поэтому один сотрудник может параллельно участвовать в нескольких темах – вплоть до десяти [2]. Поэтому в НЦВ возникла задача совершенствования процесса производственного планирования, направленного на обеспечение слаженности и ритмичности хода всех производственных процессов, организацию согласованной работы всех подразделений НЦВ для обеспечения равномерного выполнения проектов по номенклатуре при полном и рациональном использовании имеющихся экономических и производственных ресурсов и, в конечном итоге, на наибольшее удовлетворение основных потребностей заказчика и увеличения прибыли, получаемой АО «НЦВ Миль и Камов».

Поэтому целью данной работы является разработка методики оценки качества процесса производственного планирования, используемой в действующей на предприятии системе мотивации команд управления проектами.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оптимизации процесса производственного планирования необходимы система показателей его качества и методы их оценки [3–8], а совершенствование процесса следует осуществлять на основе цикла развития DMAIC (Define – Measurement – Analyze – Improve – Control, Определение – Измерение – Анализ – Улучшение – Контроль) [9], широко применяемого в различных отраслях промышленности. При этом методика оценки качества процесса производственного планирования должна использоваться на стадии измерения цикла развития DMAIC.

В процессе производственного планирования определяются:

- последовательность и сроки выполнения стадий (этапов, работ), исполнители, степень ответственности и полномочий, объем выполняемых работ;
- объем и сроки рассмотрения, согласования отчетной документации и приемки этапов работ;
- потребность в ресурсах, необходимых для обеспечения дальнейших процессов жизненного цикла продукции;
- работы, связанные с подтверждением соответствия продукции (верификация, валидация), мониторингом процессов жизненного цикла продукции;
- записи, необходимые для представления свидетельств того, что результаты работ соответствуют установленным требованиям;
- перечень соисполнителей, в том числе профильные институты и испытательные центры, согласованные с ними предварительные составы работ и сроки их выполнения.

В процессе производственного планирования разрабатываются производственные планы, характеризующиеся временными горизонтами (периодами):

- *среднесрочный* производственный план разрабатывается на трехлетний период и носит скользящий характер, то есть подлежит ежегодной актуализации по мере добавления новых проектов (работ), внесения изменений в производственный план с учетом достигнутых в ходе его реализации результатов. Объектами планирования являются производственные мощности, выполняемые, планируемые и прогнозируемые проекты, которые могут иметь статусы «выполняется», «планируется» или «прогноз» [10];

- *квартальный или текущий* производственный план разрабатывается для каждого структурного подразделения, включает проекты со статусом «выполняется», детализированные до конкретных работ и работников, и конкретизирует среднесрочный производственный план.

На основании среднесрочного производственного плана руководство НЦВ оценивает планируемую загрузку структурных подразделений и конструкторского бюро в целом и принимает управленческое решение о необходимости поиска новых проектов, предварительных сроках их начала, устанавливает (уточняет) приоритеты выполнения проектов с целью обеспечения оптимальной загрузки структурных подразделений, эффективной диспетчеризации и решения ресурсных конфликтов. На основании квартального производственного плана руководители структурных подразделений оценивают участие своих сотрудников в проектах на установленный период (квартал) и принимают управленческое решение о необходимости подготовки предложений по корректировке производственного плана структурного подразделения и решения вопросов организации выполнения работ.

Планирование работы структурных подразделений в настоящее время осуществляется с распределением плановой мощности в соотношении 70 % – плановые работы, 30 % – дополнительные работы [10]. После завершения планирования первых двадцати проектов, руководитель планово-диспетчерского отдела структурного подразделения проводит расчет и анализ получившейся загрузки каждого подразделения НЦВ, а также других участвующих в планировании структурных подразделений.

По подразделениям НЦВ и другим участвующим в планировании структурным подразделениям, имеющим загрузку менее 70 %, процесс планирования, расчета и анализа продолжается до достижения 70 % загрузки согласно приоритетам. Аналогично по подразделениям НЦВ, имеющим загрузку более 70 %, данный процесс

продолжается с целью ликвидации превышения и снижения загрузки до уровня 70 % согласно приоритетам.

При исполнении и контроле исполнения производственного плана и подведении итогов проводится оценка соблюдения соотношения 70/30, а также проводится анализ, сколько фактической мощности структурных подразделений было задействовано при выполнении плановых работ.

С целью мотивации команд управления проектами в части заблаговременного планирования задач проекта, определения сроков и объемов выполняемых работ, выполнения обеспечивающих функций и расчета премиальной части фонда оплаты труда дирекции программ и подразделений главного конструктора, создания условий своевременного выполнения работ по проектам, предложено использование коэффициента качества планирования  $K_{пл}$ .

Коэффициент качества планирования принимает значения от 0 до 1 и рассчитывается с точностью третьего знака после запятой для дирекции программ за отчетный месяц по формуле:

$$K_{пл} = w_{п} \cdot K_{полн} + w_{в} \cdot K_{вып},$$

где  $K_{полн}$ ,  $K_{вып}$  – критерии оценки качества планирования,  $w_{п}$ ,  $w_{в}$  – весовые коэффициенты, определяемые методом экспертных оценок [6, 11–13]. На текущем этапе внедрения методики оценки качества процесса производственного планирования значения весовых коэффициентов определены как  $w_{п}=0,4$ ,  $w_{в}=0,6$ , и в зависимости от производственной ситуации могут быть изменены в ту или другую сторону.

Критерий полноты планирования выполняющихся проектов  $K_{полн}$  связывает объемные параметры планирования и направлен на повышение качества управления содержанием проектов (полнота номенклатуры выполняемых задач с корректной оценкой их трудоемкости, заблаговременная корректировка планов) и определяется по зависимости

$$K_{полн} = \frac{\sum_{i=1}^N K_{полн_i}}{N},$$

где  $N$  – количество выполняющихся проектов дирекции, а  $K_{полн_i}$  – оценка полноты планирования  $i$ -го выполняющегося проекта.  $K_{полн}$  является математическим ожиданием коэффициента качества планирования по всем выполняющимся проектам дирекции программ.

Критерий выполнения плана за отчетный месяц  $K_{вып}$  отражает своевременность выполнения сдаточных позиций и связывает планирование работ руководителем проекта с возможностью их выполнения опытным производством в установленный срок, требуя качественного обеспечения и сопровождения выполнения работ, и определяется по зависимости

$$K_{вып} = \begin{cases} 0, & \text{если } N_{план} = 0 \\ \frac{N_{вып}}{N_{план}}, & \text{если } N_{план} > 0, \end{cases}$$

где  $N_{вып}$  – количество полностью выполненных сдаточных позиций с плановым окончанием в отчетном месяце,  $N_{план}$  – количество сдаточных позиций с плановым окончанием в отчетном месяце либо ранее.

Оценка полноты планирования  $i$ -го выполняющегося проекта производится по зависимости

$$K_{полн_i} = K_{пг_i} \cdot K_{расп_i} \cdot K_{об_i},$$

где  $K_{пг_i}$  – коэффициент своевременности подготовки и согласования плана-графика проекта (этапа проекта) и регистрации его в информационной системе управления проектами ИЦВ в статусе «Планируется»;

$K_{расп_i}$  – коэффициент своевременности выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту (этапу проекта) и перевод плана-графика в статус «Выполняется» (включение работ в планы опытного производства);

$K_{об_i}$  – коэффициент полноты проработки и планирования составов работ.

Коэффициент  $K_{об_i}$  может принимать минимальное значение 0, если плановая трудоемкость на отчетный месяц задач опытного производства изменилась более чем на 20 %, либо работы не планировались, или максимальное значение 1, если плановая трудоемкость задач опытного производства по проекту не изменялась, выполнение работ планировалось, и определяется по формуле

$$K_{об_i} = \begin{cases} 0, & \text{если } V_{пн} = 0 \text{ или } \frac{V_{по}}{V_{пн}} > 0,2, \\ 1 - \frac{V_{по}}{0,2V_{пн}}, & \text{если } \frac{V_{по}}{V_{пн}} \leq 0,2, \\ 1, & \text{если } V_{по} = V_{пн}, \end{cases}$$

где  $V_{по}$  – плановый объем трудозатрат проекта по окончанию месяца,  $V_{пн}$  – плановый объем трудозатрат на начало месяца. Формула вычисляет относительное отклонение объема трудозатрат на начало квартала (в утвержденном квартальном плане) от объема на окончание отчетного периода как в сторону уменьшения, так и увеличения. В случае отклонения более чем на 20 %, коэффициент принимает значение 0. В противном случае коэффициент изменяется линейно в диапазоне от 0 до 1 при отклонениях в диапазоне 20 %–0 % (рис. 1).

Коэффициенты  $K_{пг_i}$  и  $K_{расп_i}$  используются для мотивации команды управления проектом в части заблаговременной проработки и подготовки минимально необходимого объема проектной документации для включения работ в планы опытного производства согласно дей-

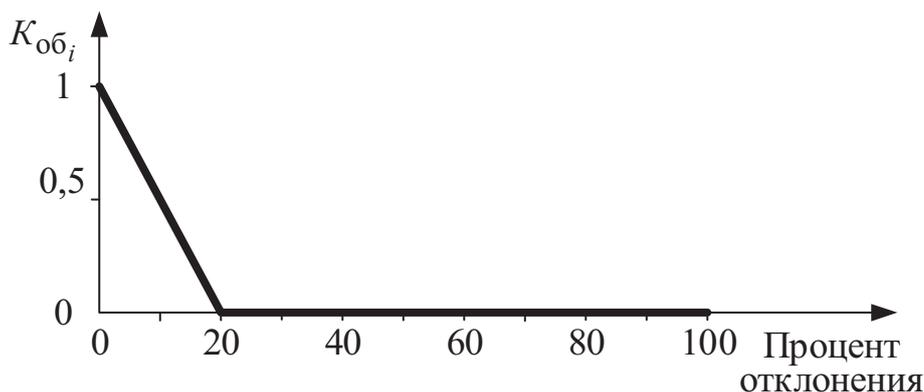


Рис. 1. Графическое представление изменения значений коэффициента полноты проработки и планирования составов работ

ствующей нормативной документации (утвержденный генеральным директором план-график проекта и оформленное распоряжение на открытие заказа).

На первоначальном этапе внедрения методики оценки качества процесса производственного планирования коэффициенту  $K_{пл_i}$  назначалось минимальное значение 0,9, если план график не был подготовлен и утвержден до планового начала выполнения работ, или максимальное значение 1, если план график был подготовлен и утвержден до планового начала выполнения работ. Аналогично коэффициенту  $K_{расп_i}$  назначалось минимальное значение 0,85, если распоряжение не было выпущено до 1 числа месяца планового начала работ (включительно), или максимальное значение 1, если распоряжение было выпущено до 1 числа месяца (включительно) планового начала работ.

Недостатком такого подхода является слабая мотивация команды управления проектом к уменьшению дней просрочки, так как в результате любого количества дней просрочки значения коэффициентов  $K_{пл_i}$  и  $K_{расп_i}$  принимают значения 0,9 и 0,85 соответственно и в дальнейшем не изменяются и поэтому не только влияют на размеры материального стимулирования.

На следующем этапе внедрения методики оценки качества процесса производственного планирования для определения значений коэффициентов  $K_{пл_i}$  и  $K_{расп_i}$  стала применяться система нечеткого вывода, использующая нечеткие лингвистические переменные вида  $\langle \beta, T, X \rangle$  и правила нечеткого вывода для преобразования таких типов значений показателей в количественный вид в формате «ЕСЛИ А, ТО В» (или в формате: «IF A THEN B»), в соответствии с нотацией, предложенной в стандарте МЭК 1131-7 [14], где А и В – нечеткие лингвистические высказывания, определяемые по методике, реализующей алгоритм Мамдани и представленной, например, в [3, 15–18].

На первом этапе алгоритма Мамдани формируется база правил системы нечеткого выво-

да. При его реализации были введены входные лингвистические переменные системы нечеткого вывода:

$\beta_1$  – «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта»;

$\beta_2$  – «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту».

Для входных лингвистических переменных  $\beta_1$  и  $\beta_2$  были установлены области определения (универсумы)  $X_{1,2} = [0; 30]$  (количество дней просрочки), базовые терм-множества  $T_1$  и  $T_2$ , включающие следующие пять нечетких переменных  $\alpha_{(1,2),i}$ , где  $i=1...5$ , – {«Отсутствует», «Низкая», «Средняя», «Высокая», «Очень высокая»}, а также соответствующие нечеткие множества вида  $\{x, \mu(X)\}$  с функциями принадлежности  $\mu_1(X_1)$ ,  $\mu_2(X_2)$ , описывающие возможные значения, которые могут принимать данные нечеткие переменные.

Функции принадлежности и графики функций принадлежности полученных нечетких переменных входных лингвистических переменных  $\beta_1$  – «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» и  $\beta_2$  – «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» представлены в табл. 1 и на рис. 2 и 3. В табл. 1 использована нотация записи функций принадлежности в виде кусочно-линейных функций, представленная в [17]. Данной нотацией предусматриваются следующие основные типы функций принадлежности:  $f_{\Delta}(x, a, b, c)$  – треугольная,  $f_T(x, a, b, c, d)$  – трапециевидная,  $f_{\uparrow}(x, a, b)$  – линейная Z-образная,  $f_{\downarrow}(x, a, b)$  – линейная S-образная, где  $a, b, c, d$  – некоторые числовые параметры, образующие убывающую последовательность.

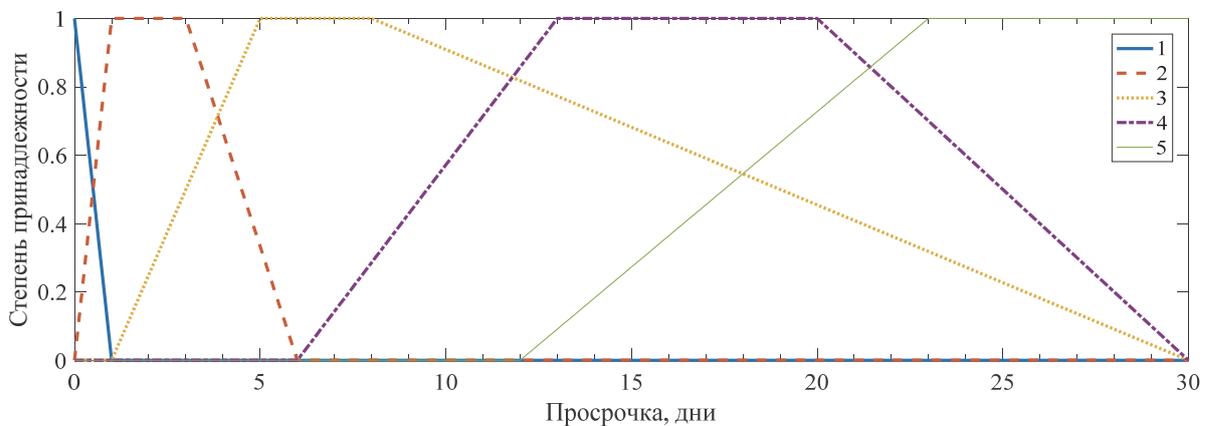
Аналогично входным получены соответствующие выходные лингвистические переменные системы нечеткого вывода:

$\beta'_1$  – «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта»;

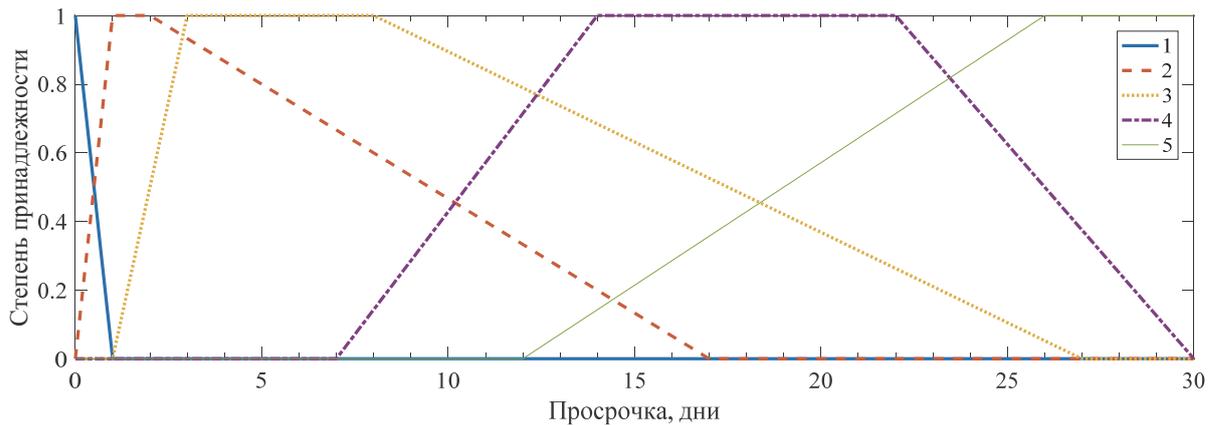
$\beta'_2$  – «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения ра-

**Таблица 1.** Функции принадлежности нечетких множеств, соответствующих нечетким переменным для лингвистических переменных «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» и «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту»

Терм-множество	Нечеткая переменная	Функция принадлежности
$T_1$	$\alpha_{1,1}$ «Отсутствует»	$f_1(x, 0, 1)$
	$\alpha_{1,2}$ «Низкая»	$f_T(x, 0, 1, 3, 6)$
	$\alpha_{1,3}$ «Средняя»	$f_T(x, 1, 5, 8, 30)$
	$\alpha_{1,4}$ «Высокая»	$f_T(x, 6, 13, 20, 30)$
	$\alpha_{1,5}$ «Очень высокая»	$f_1(x, 12, 23)$
$T_2$	$\alpha_{2,1}$ «Отсутствует»	$f_1(x, 0, 1)$
	$\alpha_{2,2}$ «Низкая»	$f_T(x, 0, 1, 2, 17)$
	$\alpha_{2,3}$ «Средняя»	$f_T(x, 1, 3, 8, 27)$
	$\alpha_{2,4}$ «Высокая»	$f_T(x, 7, 14, 22, 30)$
	$\alpha_{2,5}$ «Очень высокая»	$f_1(x, 12, 26)$



**Рис. 2.** Графики функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих нечетким переменным для лингвистической переменной «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта»: 1 – «Отсутствует», 2 – «Низкая», 3 – «Средняя», 4 – «Высокая», 5 – «Очень высокая»



**Рис. 3.** Графики функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих нечетким переменным для лингвистической переменной «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту»: 1 – «Отсутствует», 2 – «Низкая», 3 – «Средняя», 4 – «Высокая», 5 – «Очень высокая»

бот по проекту», а также их области определения (универсумы)  $Y_{(1,2)} = [-0, 1; 1, 1]$  (количество дней просрочки), базовые терм-множества  $T'_1$ , включающие следующие пять нечетких переменных  $\alpha'_{(1,2),i}$ , где  $i=1...5$ , – {«Очень высокая», «Вы-

сокая», «Средняя», «Низкая», «Очень низкая», а также соответствующие нечеткие множества с функциями принадлежности  $\mu'_1(Y_1)$ ,  $\mu'_2(Y_2)$ .  
 Функции принадлежности и графики функций принадлежности полученных нечетких

переменных выходных лингвистических переменных  $\beta'_1$  – «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» и  $\beta'_2$  – «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» представлены в табл. 2 и на рис. 4.

На первом этапе алгоритма нечеткого вывода Мамдани была создана база правил нечетких продукций, записанных в форме [17, 18]:

**ПРАВИЛО <#>:** ЕСЛИ « $\beta'_1$  есть  $\alpha'$ », ТО « $\beta'_2$  есть  $\alpha''$ » ( $F$ ),

где нечеткое лингвистическое высказывание « $\beta'_1$  есть  $\alpha'$ » представляет собой условие правила нечеткой продукции, а нечеткое лингвистическое высказывание « $\beta'_2$  есть  $\alpha''$ » – нечеткое заключение данного правила,  $F$  – коэффициент определенности или весовой коэффициент правила. При этом считается, что  $\beta'_1 \neq \beta'_2$ .

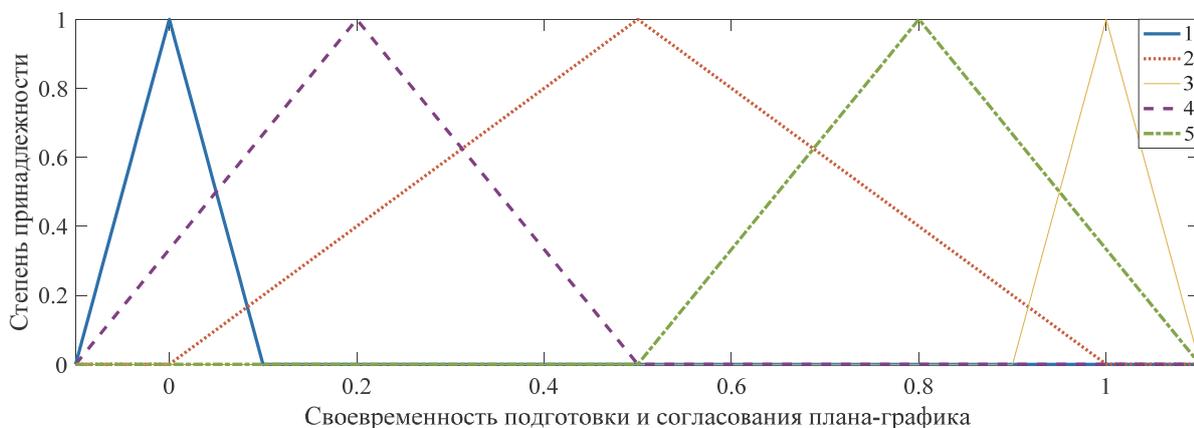
Разработанная в результате система нечеткого вывода для каждой лингвистической переменной  $\beta_1$  и  $\beta_2$  содержит по 5 правил нечетких продукций:

Для переменной  $\beta_1$ :

1. ЕСЛИ «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Отсутствует» ТО «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Очень высокая» (1);
2. ЕСЛИ «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Низкая» ТО «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Высокая» (1);
3. ЕСЛИ «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Средняя» ТО «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Средняя» (1);
4. ЕСЛИ «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Высокая» ТО «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Низкая» (1);
5. ЕСЛИ «Просрочка подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Очень высокая» ТО «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» есть «Очень низкая» (1);

**Таблица 2.** Функции принадлежности нечетких множеств, соответствующих нечетким переменным для лингвистических переменных «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» и «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту»

Терм-множество	Нечеткая переменная	Функция принадлежности
$T'_1, T'_2$	$\alpha'_{1,1}, \alpha'_{2,1}$ «Очень высокая»	$f_{\Delta}(x, 0, 9, 1, 1, 1)$
	$\alpha'_{1,2}, \alpha'_{2,2}$ «Высокая»	$f_{\Delta}(x, 0, 5, 0, 8, 1, 1)$
	$\alpha'_{1,3}, \alpha'_{2,3}$ «Средняя»	$f_{\Delta}(x, 0, 0, 5, 1)$
	$\alpha'_{1,4}, \alpha'_{2,4}$ «Низкая»	$f_{\Delta}(x, -0, 1, 0, 2, 0, 5)$
	$\alpha'_{1,5}, \alpha'_{2,5}$ «Очень низкая»	$f_{\Delta}(x, -0, 1, 0, 0, 1)$



**Рис. 4.** Графики функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих нечетким переменным для лингвистических переменных «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» и «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту»: 1 – «Очень высокая», 2 – «Высокая», 3 – «Средняя», 4 – «Низкая», 5 – «Очень низкая»

Для переменной  $\beta_2$ :

1. ЕСЛИ «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Отсутствует» ТО «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Очень высокая» (1);

2. ЕСЛИ «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Низкая» ТО «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Средняя» (0,1);

3. ЕСЛИ «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Средняя» ТО «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Низкая» (0,5);

4. ЕСЛИ «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Высокая» ТО «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Низкая» (0,5);

5. ЕСЛИ «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Очень высокая» ТО «Своевременность выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту» есть «Очень низкая» (1).

Данные правила нечетких продукций по результатам применения системы нечеткого вывода в МЦВ при необходимости будут уточняться.

На втором этапе алгоритма Мамдани производится фаззификация входных переменных. Дальнейшее рассмотрение алгоритма проведем на примере лингвистической переменной «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту». В этом случае значение количества дней просрочки  $x$  используется в качестве аргумента функции принадлежности  $\mu_{1,i}(x)$  нечетких переменных  $\alpha_{1,i}$  лингвистической переменной  $\beta_1$  «Просрочка выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту», тем самым находится количественное значение функций принадлежности  $b_{1,k} = \mu_{1,i}(x)$  нечетких переменных  $\alpha_{1,i}$ , входящих в подусловие  $k$ -го правила базы правил разработанной системы нечеткого вывода. Для рассматриваемой системы нечеткого вывода  $k=i$ . Этап фаззификации заканчивается нахождением всех значений функций принадлежности  $b_{1,k}$  для всех нечетких переменных  $\alpha_{1,i}$ , входящих в подусловия всех правил базы правил.

На третьем этапе происходит агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций, т. е. определение степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Так как в рассматриваемой системе нечеткого вывода правила состоят из одного подусловия,

то степень истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода равна соответствующему значению функции принадлежности  $b_{1,k}$  нечеткой переменной  $\alpha_{1,i}$ , входящей в подусловие соответствующего правила. Этап агрегирования заканчивается нахождением значений степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Четвертым этапом процедуры нечеткого вывода по алгоритму Мамдани является активизация или композиция подзаклучений в нечетких правилах продукций с учетом весовых коэффициентов правил  $F_{1,k}$  путем определения функций принадлежности нечеткой переменной  $\mu''_{1,k}(y)$  выходной лингвистической переменной  $\beta'_1$  «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» с использованием метода нечеткой композиции min-активация:

$$\mu''_{1,k}(y) = \min \{c_{1,k}, \mu'_{1,k}(y)\},$$

где  $c_{1,k} = F_{1,k} \cdot b_{1,k}$ ;  $\mu'_{1,k}(y)$  – функция принадлежности нечеткой переменной выходной лингвистической переменной  $\beta'_1$  «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» в  $k$ -м правиле базы правил разработанной системы нечеткого вывода.

Этап активизации заканчивается определением для каждой из выходных лингвистических переменных, входящих в отдельные подзаклучения правил нечетких продукций, функций принадлежности нечетких множеств их значений.

На этапе аккумуляирования заключений нечетких правил продукций происходит объединение всех степеней истинности подзаклучений  $\mu''_{1,k}(y)$  методом max-объединения для получения функции принадлежности  $\mu''_1(y)$  выходной переменной  $\beta'_1$  «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта»

$$\mu''_1(y) = \max_k (\mu''_{1,k}(y)).$$

На последнем этапе алгоритма Мамдани – дефаззификации – происходит процесс нахождения обычного (не нечеткого) значения выходной лингвистической переменной  $\beta'_1$  «Своевременность подготовки и согласования плана-графика проекта» с использованием метода центра тяжести. Тогда значение коэффициента  $K_{\text{пр } i}$  своевременности подготовки и согласования плана-графика  $i$ -го проекта (этапа проекта) и регистрации его в информационной системе управления проектами НЦВ в статусе «Планируется» определится по зависимости

$$K_{\text{пр } i} = \frac{\int_{-0,1}^{1,1} y \cdot \mu''_1(y) dy}{\int_{-0,1}^{1,1} \mu''_1(y) dy} =$$

$$= \frac{\int_{-0,1}^{1,1} y \cdot \max_k \{\min_k [F_{1,k} \cdot \mu_{1,i}(x), \mu'_{1,k}(y)]\} dy}{\int_{-0,1}^{1,1} \max_k \{\min_k [F_{1,k} \cdot \mu_{1,i}(x), \mu'_{1,k}(y)]\} dy} .$$

Пример работы разработанной системы нечеткого вывода, реализованной в среде Matlab R2016b с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox 2.2.24 для случая просрочки на 4 дня

представлен на рис. 5. В рассматриваемом случае значение коэффициента  $K_{\text{ПГ}_i}$  будет равно 0,576 в отличие от предыдущего подхода, когда при любом числе дней просрочки данный коэффициент имеет значение 0,9.

Зависимость значений коэффициента  $K_{\text{ПГ}_i}$  от количества дней просрочки, полученное с помощью разработанной системы нечеткого вывода, представлено на рис. 6, а аналогичная зависимость значений коэффициента  $K_{\text{расп}_i}$  – на рис. 7.

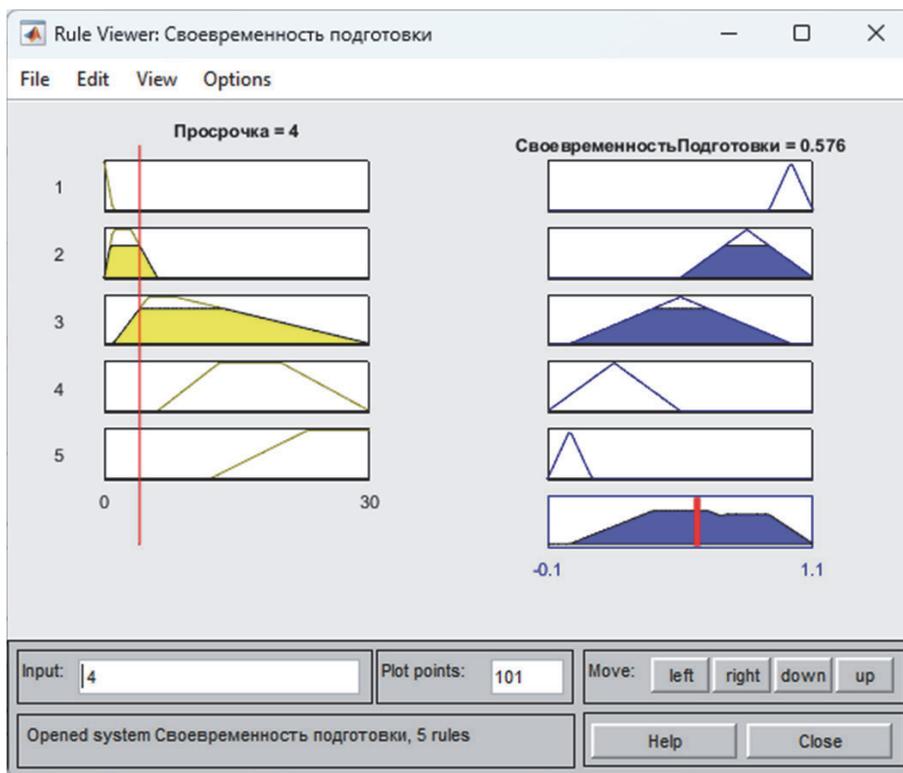


Рис. 5. Пример расчета значения коэффициента своевременности подготовки и согласования плана-графика  $i$ -го выполняющегося проекта в среде Matlab

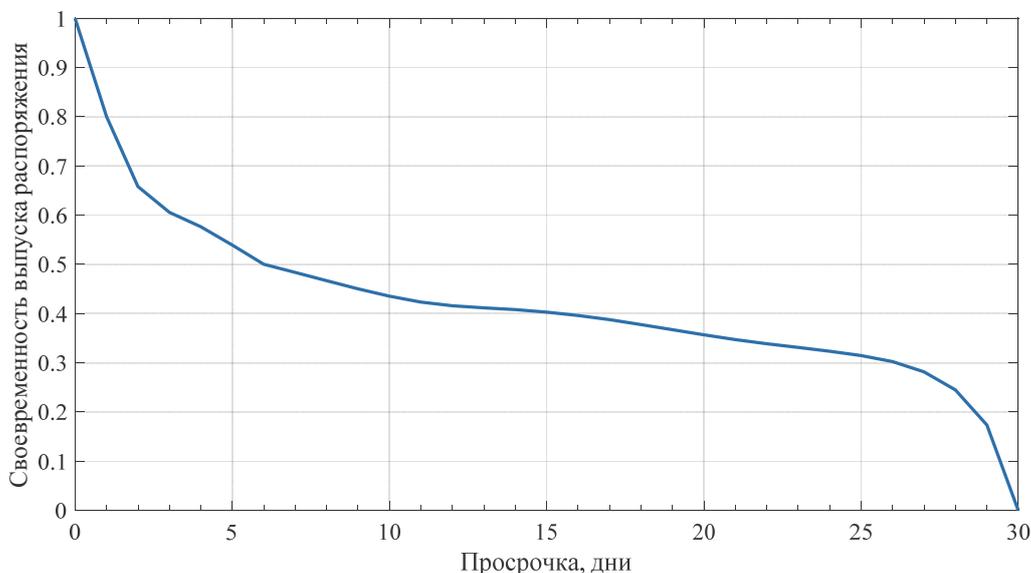
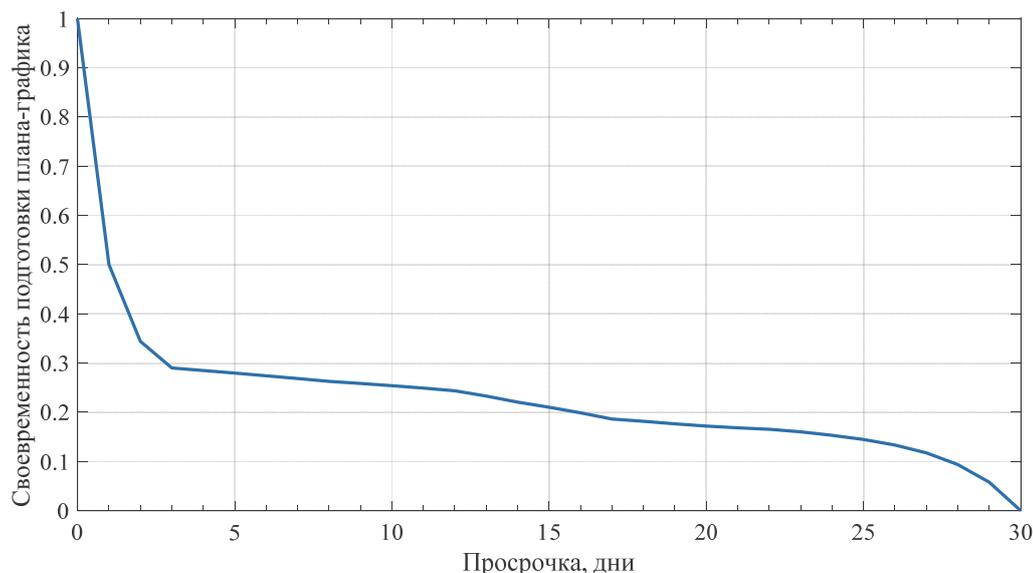


Рис. 6. Зависимость значений коэффициента своевременности подготовки и согласования плана-графика проекта (этапа проекта) от количества дней просрочки



**Рис. 7.** Зависимость значений коэффициента своевременности выпуска распоряжения на открытие заказа для выполнения работ по проекту (этапу проекта) от количества дней просрочки

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом внедрения разработанной методики оценки качества процесса производственного планирования в производственную практику АО «НЦВ Миль и Камов» стал рост количества проектов, выполненных в ранее запланированные сроки с 45 % в 2018 г. до 75 % в 2023 г. Это привело в конечном итоге к увеличению в холдинге «Вертолеты России» выхода качественной научной и технической документации и, соответственно, выпускаемой продукции в установленные планами сроки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была решена задача разработки методики оценки качества процесса производственного планирования, использующей коэффициент качества планирования для мотивации команд управления проектами в части заблаговременного планирования задач проекта, определения сроков и объемов выполняемых работ, выполнения обеспечивающих функций и расчета премиальной части фонда оплаты труда дирекции программ и подразделений главного конструктора, создания условий своевременного выполнения работ по проектам. Для расчета значений компонентов коэффициента на основе учета неполноты и неточности исходных данных, предложена система нечеткого вывода, которая в дальнейшем может быть преобразована в нейро-нечеткую сеть с возможностью самообучения и адаптации. Применение при оценке качества процесса производственного планирования методов нечеткого моделирова-

ния позволит получить более адекватные значения коэффициента качества планирования по сравнению с традиционным подходом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет Правительства Российской Федерации в Государственной Думе о результатах работы в 2023 году [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/news/51246/> (дата обращения 10.04.2024).
2. Короткевич, М.З. Использование цифровых технологий в разработке вертолетной техники / М.З. Короткевич // *АвиаСоюз*. – 2021. – № 6 (88). – С. 32.-36.
3. Иноземцев, А.Н. Модель квалиметрической оценки технологического проекта изготовления машины / А.Н. Иноземцев, А.В. Анцев // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2009. – Вып. 1. – Ч. 1. – С. 223-230.
4. Анিকেва, О.В. Разработка математических моделей статистики качества при явном и скрытом управлении целями / О.В. Анিকেва, А.Г. Ивахненко // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2023. – № 12. – С. 35-38.
5. Анিকেва, О.В. Обеспечение достижимости долгосрочных целей в области качества при скрытом управлении социально-экономическими системами предприятий / О.В. Анিকেва, А.Г. Ивахненко // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2023. – № 9. – С. 461-468.
6. Анцев, В.Ю. Методика квалиметрической оценки качества производственных процессов / В.Ю. Анцев, Н.А. Витчук // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2017. Вып. 8. – Ч. 1. – С. 324-331.
7. Анцев, В.Ю. Управление качеством процесса разработки проектной документации на транспортно-технологические комплексы / В.Ю. Анцев,

- М.Х. Казанлеев, К.Н. Ханин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – Вып. 4. – С. 228-238.
8. Анцев, В.Ю. Поэтапное совершенствование производственного процесса на примере производства трубопроводов газотурбинных двигателей / В.Ю. Анцев, Н.А. Витчук // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 5 (68). – С. 15-21.
  9. Тито, К. Качество в XXI веке. Роль качества в обеспечении конкурентоспособности и устойчивого развития / К. Тито, К. Есио, В. Грегари. – М.: Стандарты и качество, 2005. – 280 с.
  10. Фетисов, М.Н. Ранжирование проектов в портфеле заказов авиастроительного предприятия на основе квалиметрической оценки / М.Н. Фетисов, С.А. Васин, Н.Н. Трушин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 2. – С. 623-628.
  11. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 56 с.
  12. Анцев, В.Ю. Разрешение неопределенностей в задачах технологического проектирования на основе метода экспертных оценок / В.Ю. Анцев, Н.Н. Трушин, А.В. Федоров // Технологическая системотехника. – 2002. – С. 229-233.
  13. Трушин, Н.Н. Организационно-технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии / Н.Н. Трушин. – Тула: ТулГУ, 2003. – 230 с.
  14. IEC 1131 – Programmable controllers. Part 7 – Fuzzy Control Programming. International electrotechnical commission (IEC). Technical committee № 65: Industrial process measurement and control subcommittee 65 В. 1997 Januar. 53 p.
  15. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
  16. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 452 с.
  17. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
  18. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE PRODUCTION PLANNING PROCESS AT AN AIRCRAFT MANUFACTURING ENTERPRISE

© 2024 S.A. Vasin<sup>1</sup>, S.N. Shevchenko<sup>2</sup>, M.N. Fetisov<sup>3</sup>, V.Yu. Anzev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tula State University, Tula, Russia

<sup>2</sup>Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

<sup>3</sup>Mil and Kamov Research and Development Center, Tomilino, Russia

The article presents a methodology for assessing the quality of the production planning process used in the project management team motivation system in place at an aircraft manufacturing enterprise when executing and controlling the execution of the production plan and summarizing the results. It is proposed to assess the quality of the production planning process on the basis of the planning quality coefficient, including two criteria: the criterion of completeness of planning of the projects in progress and the criterion of plan fulfillment for the reporting month. Dependencies for calculating the planning quality coefficient and its constituent criteria are presented. And for calculation of the components of the criterion of completeness of planning of the projects in progress it is proposed to use the system of fuzzy inference. Two input linguistic variables are introduced: “Delay of preparation and coordination of the project schedule plan” and “Delay of issuing the order for opening the order to perform work on the project”, as well as two output linguistic variables: “Timeliness of preparation and approval of the project schedule” and “Timeliness of issuance of the order to open the order to perform the project work”. For all linguistic variables there are defined definition areas (universes), basic term-multiplicities and their constituent fuzzy variables, as well as corresponding fuzzy sets with accessory functions describing possible values that these fuzzy variables can take. The interpretation of the Mamdani algorithm for the considered case of using the fuzzy inference system is presented. A practical example of the work of the developed fuzzy inference system implemented in Matlab R2016b environment using Fuzzy Logic Toolbox 2.2.24. The result of the implementation of the developed methodology for assessing the quality of the production planning process in the production practice of JSC “NCV Mil and Kamov” was the growth of the number of projects completed within the previously planned timeframe from 45% in 2018 to 75% in 2023. This ultimately led to an increase in Russian Helicopters’ output of high-quality scientific and technical documentation and, accordingly, the output of products within the scheduled timeframe.

**Keywords:** Production planning, process, process quality assessment, fuzzy inference system, linguistic variable.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-3-23-33

EDN: TWRZLS

## REFERENCES

1. Otchet Pravitel'stva Rossijskoj Federacii v Gosudarstvennoj Dume o rezul'tatah raboty v 2023 godu [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://government.ru/news/51246/> (data obrashcheniya 10.04.2024).
2. Korotkevich, M.Z. Ispol'zovanie cifrovyykh tekhnologiy v razrabotke vertoletnoy tekhniki / M.Z. Korotkevich // AviaSoyuz. – 2021. – № 6 (88). – S. 32-36.
3. Inozemcev, A.N. Model' kvalimetricheskoj ocenki tekhnologicheskogo proekta izgotovleniya mashiny / A.N. Inozemcev, A.V. Ancev // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2009. – Vyp. 1. – Ch. 1. – S. 223-230.
4. Anikeeva, O.V. Razrabotka matematicheskikh modelej statiki kachestva pri yavnom i skrytom upravlenii celyami / O.V. Anikeeva, A.G. Ivahnenko // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 12. – S. 35-38.
5. Anikeeva, O.V. Obespechenie dostizhimosti dolgosrochnnykh celey v oblasti kachestva pri skrytom upravlenii social'no-ekonomicheskimi sistemami predpriyatij / O.V. Anikeeva, A.G. Ivahnenko // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 9. – S. 461-468.
6. Ancev, V.Yu. Metodika kvalimetricheskoj ocenki kachestva proizvodstvennykh processov / V.Yu. Ancev, N.A. Vitchuk // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2017. Vyp. 8. – CH. 1. – S. 324-331.
7. Ancev, V.Yu. Upravlenie kachestvom processa razrabotki proektnoj dokumentacii na transportno-tekhnologicheskikh kompleksakh / V.Yu. Ancev, M.H. Kazanleev, K.N. Hanin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2011. – Vyp. 4. – S. 228-238.
8. Ancev, V.Yu. Poetapnoe sovershenstvovanie proizvodstvennogo processa na primere proizvodstva truboprovodov gazoturbinnyykh dvigateley / V.Yu. Ancev, N.A. Vitchuk // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 5 (68). – S. 15-21.
9. Tito, K. Kachestvo v XXI veke. Rol' kachestva v obespechenii konkurentosposobnosti i ustojchivogo razvitiya / K. Tito, K. Esio, V. Gregari. – M.: Standarty i kachestvo, 2005. – 280 s.
10. Fetisov, M.N. Ranzhirovanie proektov v portfele zakazov aviastroitel'nogo predpriyatiya na osnove kvalimetricheskoj ocenki / M.N. Fetisov, S.A. Vasin, N.N. Trushin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – Vyp. 2. – S. 623-628.
11. Litvak, B.G. Ekspertnye ocenki i prinyatie reshenij / B.G. Litvak. – M.: Patent, 1996. – 56 s.
12. Ancev, V.Yu. Razreshenie neopredelennostey v zadachah tekhnologicheskogo proektirovaniya na osnove metoda ekspertnykh ocnok / V.Yu. Ancev, N.N. Trushin, A.V. Fedorov // Tekhnologicheskaya sistemotekhnika. – 2002. – S. 229-233.
13. Trushin, N.N. Organizacionno-tekhnologicheskaya struktura proizvodstvennogo processa na mashinostroitel'nom predpriyatii / N.N. Trushin. – Tula: TulGU, 2003. – 230 s.
14. IEC 1131 – Programmable controllers. Part 7 – Fuzzy Control Programming. International electrical commission (IEC). Technical committee № 65: Industrial process measurement and control sub-committee 65 B. 1997 Januar. 53 r.
15. Zade, L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh reshenij / L. Zade. – M.: Mir, 1976. – 166 s.
16. Rutkovskaya, D. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy / D. Rutkovskaya, M. Pilin'skij, L. Rutkovskij. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2007. – 452 s.
17. Leonenkov, A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH / A.V. Leonenkov. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 736 s.
18. Shtovba, S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB / S. Shtovba. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2007. – 288 s.

*Sergey Vasin, Doctor of Technical, Professor, Professor-Consultant of the Department of Engineering Technology. E-mail: vasin\_sa53@mail.ru*

*Sergey Shevchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director. E-mail: samniish@mail.ru*

*Mikhail Fetisov, Deputy Executive Director.*

*E-mail: mkhl.ftsv@gmail.com*

*Vitaly Antsev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Transport-Technological Machines and Processes, ancev@yandex.ru*